

Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря Сікорського»

МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра технології машинобудування
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ Ю.В.Петраков
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 20__ р.

Магістерська
дисертація на здобуття
ступеня магістра

зі спеціальності **131. Прикладна механіка**

(код і назва спеціальності)

на тему: Дослідження зношування різального інструменту при точінні жаростійких сталей

Виконав: студент ____ курсу, групи _____

Довгун Вадим Анатолійович

(підпис)

Науковий керівник Субін Анатолій Анатолійович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019 року

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертаційна робота складається із змісту, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Робота містить 75 сторінок, 31 рисунок, 21 таблицю, 39 використаних літературних джерел.

Актуальність теми дослідження.

Найбільш суттєвою проблемою лезової обробки високолегованих жаростійких сталей є висока інтенсивність зношування ріжучого інструменту. Цьому питанню присвячені численні дослідження. Більшість публікацій вирішує питання на емпіричному рівні - шляхом підбору для конкретних оброблюваних матеріалів раціональних режимів різання, марки і геометрії інструменту.

Результати аналізу нормативно-довідкової та спеціальної літератури, наведені далі, свідчать про те, що працездатність твердосплавного інструменту при різанні високолегованих жаростійких сталей може залежати від великої кількості факторів. Однак фізична картина поглядів на причини швидкого виходу інструменту з ладу далеко не завершена, що у великій мірі пояснюється слабким опрацюванням питання про особливості стружкоутворення і контактної взаємодії. Правильний вибір марки твердого сплаву і режимів різання, що забезпечує високу працездатність інструменту, може здійснюватися тільки на основі повних і глибоких знань в області контактної взаємодії, стружкоутворення, механізму зношування і причин руйнування твердого сплаву.

Тому дослідження в цій області є важливими і актуальними як з наукової, так і з практичної точки зору.

Метою роботи є збільшення зносостійкості, довговічності і надійності різального інструменту при точінні жаростійких сталей.

Завданням дослідження є теоретичні і експериментальні дослідження зносу різального інструменту при обробці жаростійких сталей.

Об’єкт дослідження – процес зношування різців при точінні. Основна частина досліджень проводилась при обробці нержавіючої жаростійкої сталі 40X13, інструментом із групи ТК- Т15К6.

Предмет дослідження – вплив режимів обробки на стійкість різально інструменту.

Мета дослідження. Метою експериментальних досліджень є кількісна оцінка режимів різання, стійкості інструменту при обробці різанням нержавіючої жаростійкої сталі 40X13 за вказаних значень величин подачі, глибини різання. На основі визначених даних знайти значення швидкості різання й критерію зносу задньої частини різця, які будуть забезпечувати найбільший шлях різання за час доки не вичерпається ресурс роботи інструменту.

Наукова новизна. Запропоновано оптимальні режими різання при точінні жаростійких сталей, використовуючи які ми можемо визначити оптимальний критерій зношування задньої поверхні різця, при якому загальний ресурс роботи різального інструменту буде найбільший.

Публікації.

Довгун В. А., Субін А. А. – «Характеристики зносу інструменту при токарній обробці загартованої сталі», Materialy XV Międzynarodowej naukowii-praktycznej konferencji , «Perspektywiczne opracowania są nauką i technikami - 2019» , 07 - 15 listopada 2019 roku po sekcjach: Budownictwo i architektura. Geografia i geologia. Współczesne informacyjne technologie. Techniczne nauki – 5с.

Ключові слова: Процес різання, твердий сплав, критерій зношування, стійкість різця, шлях різання.

ABSTRACT

The master's dissertation consists of content, introduction, four sections, conclusions, a list of used literature and applications. The work contains 81 pages, 31 figures, 21 tables, 39 used literature sources.

Actuality of theme.

The most significant problem with the blade treatment of high-alloy heat-resistant steels is the high intensity of the cutting tool wear. Numerous studies are devoted to this question. Most publications address the issue at the empirical level by selecting rational cutting modes, marks and tool geometries for specific materials to be processed.

The results of the analysis of the regulatory and reference literature below indicate that the performance of a carbide tool when cutting high-alloy heat-resistant steels may depend on a number of factors. However, the physical picture of the reasons for the rapid failure of the tool is far from complete, which is largely explained by the poor study of the features of chip formation and contact interaction. The correct choice of the brand of hard alloy and cutting modes, which ensures high efficiency of the tool, can be made only on the basis of complete and deep knowledge in the field of contact interaction, chip formation, the mechanism of wear and the causes of destruction of the hard alloy.

Therefore, research in this area is important and relevant both scientifically and practically.

The purpose of the work is to increase the durability, durability and reliability of the cutting tool when sharpening heat-resistant steels.

The purpose of the study is theoretical and experimental studies of the wear of the cutting tool in the processing of heat-resistant steels.

The object of study – the process of wear of cutters when turning. The main part of the research was carried out in the processing of stainless steel 40X13, a tool from the group TK-T15K6.

The subject of the study is the influence of machining modes on the cutting tool stability.

The aim of the study.

The purpose of the experimental studies is to quantitatively evaluate the cutting modes, the tool stability when machining stainless steel 40X13 with the specified values of feed values, cutting depth. Based on the identified data, find the values of the cutting speed and the criterion of wear on the back of the cutter, which will provide the greatest cutting path until the tool life is exhausted.

Scientific novelty. Optimal cutting modes for turning of heat-resistant steels are proposed, using which we can determine the optimal criterion of wear of the back surface of the cutter, in which the total life of the cutting tool will be the greatest.

Publications.

Dovgun V.A., Subin A.A. – «Characteristics of tool wear during the machining of hardened steel», Materialy XV : Budownictwo and Architecture. Geography and geologia. Współczesne informacyjne technologie. Techniczne nauki – 5s.

Key words: Cutting process, hard alloy, wear criterion, cutter resistance, cutting path.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	4
ABSTRACT.....	6
ВСТУП.....	10
1. ЗНОШУВАННЯ І РУЙНУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ...	11
1.1 Зношування різального інструменту.....	11
1.1.1 Зношування як руйнування контактних площадок різальної частини інструменту. Види зношування.....	12
1.1.2 Зовнішня картина зношування інструменту.....	14
1.1.3 Методи вимірювання величини зношування. Крива зносу різців.....	16
1.1.4 Вплив на зношування умов різання.....	18
1.1.5 Критерії зносу інструмента.....	20
1.2 Руйнування та надійність інструменту.....	24
1.2.1 Руйнування робочої частини інструмента.....	24
1.2.2 Надійність інструменту.....	26
1.3 Аналіз методів та засобів контролю зношування різального інструменту.....	28
1.3.1 Методи безпосереднього контролю.....	28
1.3.2 Непрямі методи контролю.....	28
1.3.3 Аналіз методів діагностики на основі вимірювання температури та термоЕРС в зоні різання.....	29
1.3.4 Метод вібродіагностики і віброакустичної діагностики.....	31
1.3.5 Аналіз методу діагностики на основі вимірювання потужності, споживаної двигуном верстата.....	33
1.3.6 Аналіз методу діагностики на основі вимірювання сили різання.....	34
Висновки по розділу.....	36
2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДІВ.....	38

2.1 Розробка математичної моделі розмірного зносу леза різця від часу різання.....	38
2.2 Розробка математичної моделі стійкості різця і ресурсу роботи лезового інструменту.....	40
2.3 Залежність стійкості різального інструменту від швидкості різання.....	43
2.4 Вплив матеріалу деталі на стійкість інструменту.....	46
2.5 Вибір схеми різання, геометрії інструменту і методики дослідження.....	46
Висновки по розділу.....	49
3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	51
3.1 Аналіз результатів дослідження.....	51
3.2 Побудова математичної моделі з експериментальних даних за допомогою ПЗ ПРИАМ.....	56
Висновки до розділу.....	61
4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	62
4.1 Опис ідеї проекту.....	62
4.2 Проведення аналізу ринкових можливостей проекту.....	63
4.3 Розробка ринкової стратегії проекту.....	69
4.4 Розробка маркетингової програми.....	71
Висновки до розділу.....	72
ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	74
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	75
ДОДАТОК А.....	80
ДОДАТОК Б.....	81

ВСТУП

Жаростійкі сталі все більше знаходять широке використання при виготовленні деталей, вузлів машин і обладнання різного призначення, від використання яких в значній мірі залежить інтенсивність розвитку всього народногосподарського комплексу. Проте обробка даних сталей характеризується високим зносом інструменту і дану проблему потрібно вирішувати.

На сьогоднішній день продуктивність автоматизованих і потокових ліній багато в чому залежить від стійкості ріжучого інструменту. Поломки інструментів збільшують втрати часу і як наслідок знижують коефіцієнт використання обладнання.

Використовувані ріжучі інструменти на сьогоднішній день в масовому виробництві часто не задовольняють необхідні вимоги, так як використання комбінованого різального інструменту з різних твердих сплавів, кераміки і штучних надтвердих матеріалів, істотно збільшує собівартість операцій через високу вартість інструменту з таких матеріалів. Все частіше на виробництвах можна зустріти ріжучі інструменти зі змінними ріжучими пластинами з тих же твердих сплавів, швидкорізальної сталі, надтвердих матеріалів. Але хоча це і знижує собівартість ріжучих інструментів, тим не менш пластини теж не довговічні.

Завдання щодо підвищення стійкості, довговічності, надійності деталей і ріжучого інструменту, що працюють в умовах високих швидкостей різання, навантажень, температур і впливу всіляких робочих середовищ, можуть бути вирішені різними способами, наприклад шляхом створення і виробництва нових конструкційних матеріалів з високими показниками надійності і надалі застосування їх в машинобудівних, інструментальних та інших галузях.

1. ЗНОШУВАННЯ І РУЙНУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

1.1 Зношування різального інструменту

Зносу інструменту при різанні важкооброблюваних матеріалів присвячені численні дослідження. Більшість публікацій вирішує питання на емпіричному рівні - шляхом підбору для конкретних оброблюваних матеріалів найвигідніших режимів різання, марки і геометрії інструменту. Тим більшу цінність набувають роботи, в яких містяться висновки про фізичні закономірності і відмінності процесу різання інтенсивнозношуючих інструмент матеріалів від легкооброблюваних. Тому при знайомстві з літературними джерелами таких публікацій приділялася особлива увага. Результати раніше виконаних досліджень дозволяють вважати, що причини низької оброблюваності всіх корозійностійких і жароміцних матеріалів мають в основному загальну фізичну природу.

Дослідженню процесів різання важкооброблюваних матеріалів, причин інтенсивного зносу інструменту присвячені роботи таких вчених Я. Л. Гуревича, Н. Н. Зорева, А. Д. Макарова, П. Г. Петрухи, В. Н. Подураєва, Н. І. Резникова, Н. В. Талантова, Н. І. Ташлицької, А. Ш. Шифріна і багатьох інших.

За кордоном над цими питаннями активно працюють практично всі провідні фірми в області виробництва і експлуатації металорізального інструменту.

Авторами роботи [1] досліджені теплові явища і питання фізики різання жароміцних сталей і сплавів, а також запропонована класифікація матеріалів по оброблюваності з рекомендаціями щодо вибору інструменту і режимів різання.

У більшості робіт для пояснення причин низької оброблюваності корозійностійких і жароміцних матеріалів прийнято називати такі причини [1, 2, 3, 4, 5, 6 та ін.]:

1. Висока твердість і міцність, що призводить до зростання тепловиділення при пластичній деформації в зоні різання. При цьому має значення не тільки інтегральна твердість матеріалу, а й твердість аустенітної матриці, яка навіть у пластичних сталей типу 18-8 (HB 160-190) значно перевершує твердість фериту в вуглецевих сталях (HB 80) [7]. Є і пропозиція, що для сталей з нестійким аустенітом в зоні різання може мати місце ініціюється пластичною деформацією мартенситних перетворення [8].

2. Низька теплопровідність важкооброблюваних матеріалів ускладнює стік тепла з контактних зон в стружку і оброблювану заготовку, що знову таки веде до збільшення потоку теплоти в інструмент і підвищенню температури.

3. Високі контактні навантаження на ріжучих поверхнях інструменту, виникають не тільки через великі значень сил різання, скільки через малу протяжність контакту стружки з інструментом. Вважається, що вони призводять до відколів ріжучої кромки і деформації твердого сплаву [9, 10, 11, 12, 13].

7. Наявність в оброблюваному матеріалі тугоплавких карбідних і інтерметаллідних фаз, що володіють високою твердістю і надають абразивну дію на інструмент. Однак ніхто з дослідників не вважає цей механізм зносу переважаючим.

Загальноприйнято, що головною причиною інтенсивного зносу інструменту при різанні важкооброблюваних матеріалів є висока температура різання.

1.1.1 Зношування як руйнування контактних площадок робочої частини інструменту. Види зношування

Під час механічної обробки через тертя стружки на передній частині леза та задній частині леза на поверхні заготовки зношування леза відбувається у вигляді стирання та видалення мікрочастинок поверхонь та у вигляді мікротріщин (викришувань) різального краю інструменту[14]. Знос

інструментальних матеріалів також відбувається у вигляді пластичної деформації під дією ріжучих сил, що утворюють різальну частину кромки.

Тертя і пов'язане з ним зношування під час різання відрізняються від загального тертя поверхонь деталей машин. Під час різання виникає тертя між поверхнями, які постійно переробляються (оновлюються). Це тертя відбувається при високій температурі, високому тиску та відносно невеликих контактних площах[14].

З фізичного боку процес зносу інструменту дуже складний.

Виділяють такі типи зносу: абразивне, адгезійне (молекулярне), дифузне та окислювальне.

Абразивний знос є результатом подряпин та відсікання мікроскопічного об'єму інструментального матеріалу з твердими структурними складовими металу, що підлягає обробці (карбіди, ділянки росту, які руйнуються та переносяться на заготовки стружкою, відливними пробками та накипом).

Адгезійний (молекулярний) знос є результатом застосування значних сил молекулярної адгезії (склеювання, зварювання) між матеріалом заготовки (стружки) та інструментом, через що найменші частинки матеріалу інструменту сповзають під час ковзання.

Взаємне розчинення реагуючих пар оброблюваного металу та інструменту призводить до дифузного зносу.

Окислювальний знос є результатом хімічної реакції кисню з кобальтовою фазою твердого сплаву та карбідів вольфраму та титану при середній температурі 700-800 ° С, а кобальт при цьому окислюється найбільше. Твердість продуктів окислення в 40-60 разів нижча за твердість твердих сплавів. Пом'якшення фази кобальту погіршує міцність сплаву і послаблює зв'язок між карбідними зернами. Це створює умови для розірвання твердосплавних зерен силами тертя, що діють на контактні поверхні заготовки та інструменту, та їх зносу[14].

У реальних умовах обробки можуть виникати всі види зносу, один з яких залежить від умов обробки: фізико-механічні властивості металу та інструментального матеріалу, що підлягає обробці, тип та фізико-хімічні властивості теплоносія, елементи режиму різання (Рис. 1.1) та геометрія інструментальної частини, жорсткості системи ВПД і таке інше[14].

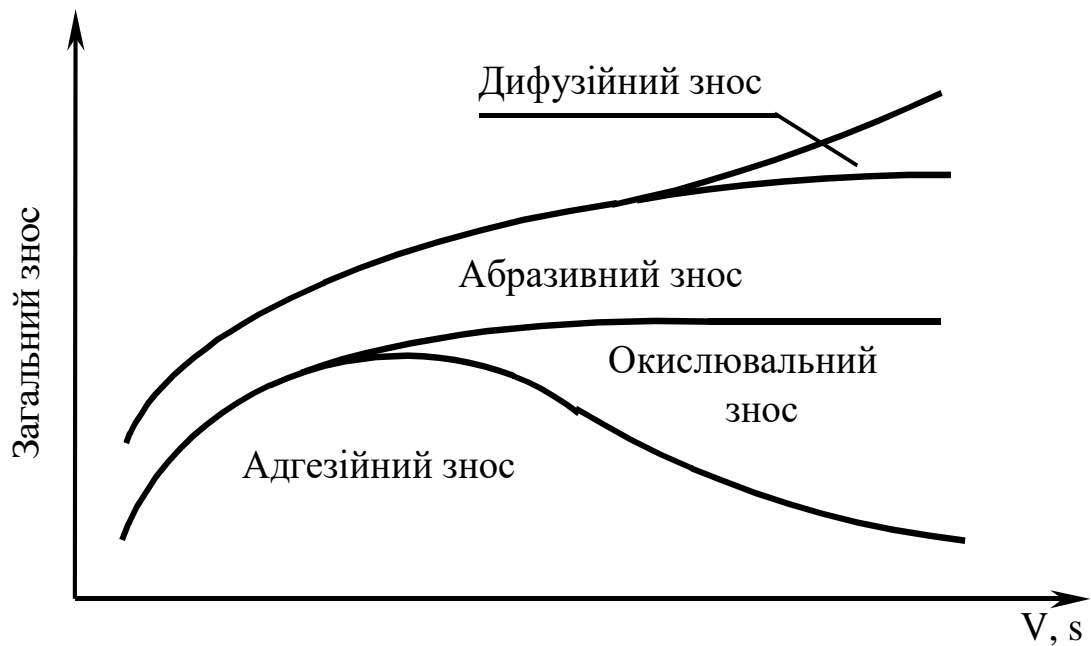


Рисунок 1.1 – Вплив швидкості різання та подачі на види зношування

1.1.2 Зовнішня картина зношування інструменту

Як правило, різець зношується на передній і задній кромках, але залежно від умов обробки може переважати той чи інший з цих типів зносу (рис. 1.2 а, б, в).

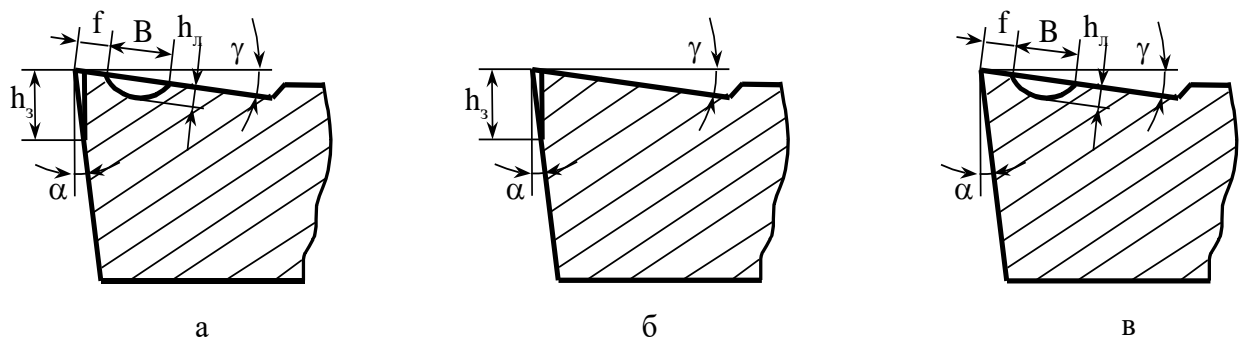


Рисунок 1.2 – Зовнішня картина зношування поверхонь леза інструменту

а – зношування по передній та задній поверхнях леза;

б – зношування по задній поверхні леза;

в – зношування по передній поверхні леза

Знос вздовж задньої поверхні характеризується висотою платформи h_z вздовж передньої поверхні, глибиною h_n і шириною отвору лунки B довжина отвору лунки незначно змінюється[14].

Під час роботи знос інструменту збільшується як спереду, так і ззаду, що призводить до зменшення накладки. Якщо ширина отвору B така, що вона досягає ріжучої кромки, вона руйнується і різець виходить з придатності. Щоб різець міг повторно різати, його необхідно заточити, прибрати спеціальний шар на передній і задній стороні леза[14].

Для різців з радіусом кривизни на кінчику знос заднього боку уздовж активної частини леза розподілений не рівномірно. Найбільший знос різця під час роботи без клинка відбувається вгорі, оскільки верхня поверхня знаходиться в найсуворіших температурних умовах через надходження тепла від допоміжного леза. Крім того, кут α у округлої області мінливий і менший, ніж кут у прямому краї.

За допомогою знімних і щілинних ножів перехід від основної ріжучої кромки до другої ріжучої кромки є найбільш напруженим, оскільки знос задньої поверхні трохи більший порівняно з іншими ділянками ріжучої кромки.

Знос твердосплавних різців може бути викликано відколом та лущенням наконечника різця. Осипання означає часткове або безперервне руйнування леза розміром не більше 0,3 мм. Подрібнення розуміється як часткове або безперервне руйнування ріжучих країв і поверхонь інструменту розміром від 0,3 до 1 мм. Більше пошкодження лез (відколів) стосується контактного руйнування ріжучої частини інструменту[14].

При різанні інструментами з твердосплавного вольфраму з дуже високою силою і тепловим навантаженням може відбутися пластична деформація леза перед зносом інструменту (рис. 11.3). Зміна форми леза полягає в опусканні частини передньої поверхні інструменту, що прилягає до основної ріжучої кромки. Завдяки викривленню задньої поверхні утворюється під цим нульовий або негативний задній кут, що сприяє інтенсивному зносу інструменту[14].

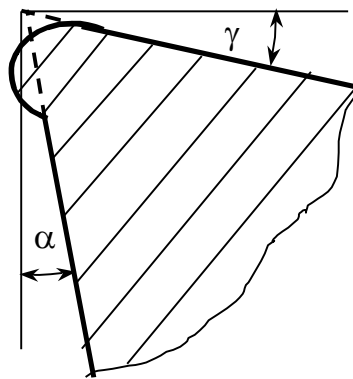


Рисунок 1.3 – Пластичне деформування леза інструменту

1.1.3 Методи вимірювання величини зношування. Крива зносу різців

Знос задньої поверхні h_z можна виміряти звичайною лупою із збільшенням в 20 разів, а глибиною отвору лунки- індикатором (лінійний метод).

Загальний знос спереду та ззаду можна визначити зважуванням на аналітичній вазі до і після випробування (метод зважування). Повний знос різального інструменту також може бути визначений методом радіоактивних

ізоотопів. Його суть полягає у формуванні в інструменті радіоактивних ізоотопів шляхом опромінення ядерними частинками, які поглинаються стружкою у вигляді продуктів зносу. Радіоактивність мікросхем визначається за допомогою спеціального лічильника і кількості загального зносу.

Залежність зносу інструменту від часу обробки описується кривою, яку можна розділити на три секції (рис. 1.4):

I - період припрацювання, в який відбувається видалення виступаючих частин поверхні; чим менший параметр шорсткості поверхонь тертя, тим менше різко знос збільшується при цьому;

II - Період нормального зносу; він характеризується тим, що з часом поступово збільшується знос;

III - період посиленої (катастрофічної) ерозії; характеризується сильним збільшенням зносу через зміни умов тертя та різким підвищенням температури різання.

Об'єктивним кількісним показником зносу інструменту є швидкість зносу, виміряна в міліграмах на 1 метр рівномірного ходу dM/dL . Використовуючи концепцію інтенсивності зносу dM / dL , можна порівняти зносостійкість різних інструментальних матеріалів та оцінити вплив геометричних параметрів та факторів режиму різання на стійкість інструменту.

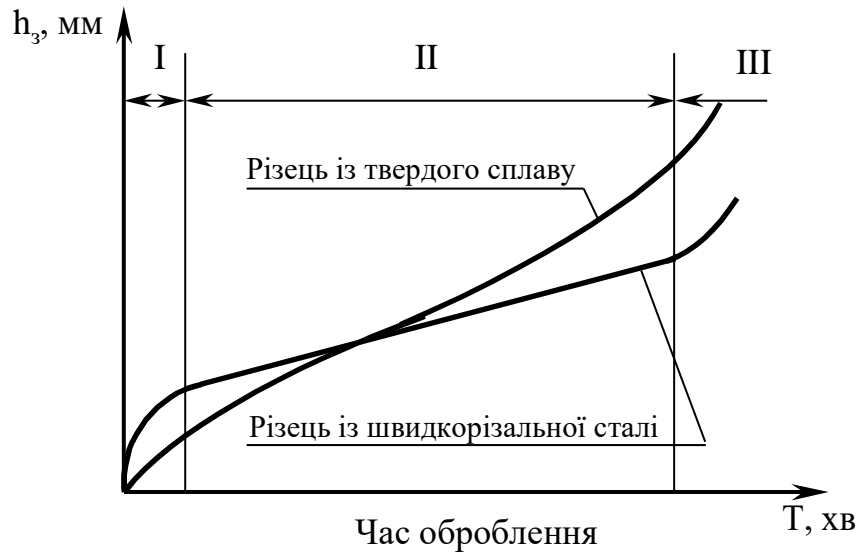


Рисунок 1.4 – Крива зношування різців

1.1.4 Вплив на зношування умов різання

При точінні крихких матеріалів (чавун, бронза) леза в основному зношуються на задній частині, незалежно від матеріалу леза. Це пояснюється тим, що сипучі тріски стружки на передній частині різця мають невеликі стирання, тоді як тильна частина різця знаходиться в постійному контакті з заготовкою. І лише на високих швидкостях спостерігається знос на передній поверхні. Завдяки великому ефекту гасіння чавуну різак виходить з ладу при нижчій температурі різання, ніж температура різання під час обробки сталі[14].

При різанні пластичних металів зношування різця стає складнішим. При низькій швидкості різання задня поверхня зношується, коли немає зростання наросту. Це пояснюється тим, що швидкість тертя на зворотному боці більша за швидкість тертя стружки на передній стороні (через усадку стружки). Однак при товстій стружці утворюється лунка, коли тиск на лицьову сторону більший.

Якщо наріст стабільний при швидкості різання, він може дещо захистити задню поверхню від зносу, а отже, при товстій стружці та

відсутності теплоносія знос в першу чергу протікає по передній поверхні різця (при нарості). Зі збільшенням ширини отвору лунки і зменшення головної площадки нижче зростання наросту, наріст зменшується настільки, що він більше не захищає задню поверхню і тильна сторона починає зношуватись. При тонких стружках і при використанні теплоносія ріст наросту погіршується, так що знос в цій зоні швидкості також йде уздовж задньої поверхні.

При високій швидкості різання, від якої не спостерігається наріст ($\alpha < 0,1$ мм), знос відбувається більше на задній поверхні різця. З товстими стружками - спереду. Це пов'язано з тим, що при товстій стружці поблизу високого тиску спереду температура вище, ніж на задній частині.

Тип зносу при обробці сталі різцями, виготовленими з високошвидкісної сталі, вважається збереженим, особливо з твердосплавними різцями. Через крихкість твердих сплавів знос на задній частині більший, ніж на передній частині. Особливо це стосується роботи при низькій швидкості різання, коли отвір лунки майже не зношений. Наріст для твердосплавних різальних інструментів не є фактором захисту від зносу, а навпаки, може призвести до руйнування ріжучої кромки, оскільки руйнування наросту може супроводжуватися посиленням відколом твердого сплаву. Тип обробленого металу також впливає на знос твердосплавних різців. Сплави групи ТК менше зношуються під час обробки сталі та більше під час обробки чавуна[14].

Різаки з мінеральної кераміки зношуються переважно по задній поверхні.

На знос леза дуже впливає шорсткість заточувальних поверхонь різців. Чим менше шорсткість передньої і задньої частини різця, тим менше тертя між контактними поверхнями і тим менший знос.

Зі збільшенням кута різання δ збільшується знос торцевої частини за рахунок збільшення сили різання.

Чим більший радіус викривлення ріжучої кромки ρ , тим більший знос тильної сторони, особливо при невеликій товщині зсуву, коли сильніший вплив ρ на деформацій зсуву та ріжучої сили.

Використання охолоджуючої рідини зменшує знос інструменту, особливо спереду, завдяки полегшенню формування стружки, зменшенню сил тертя на ковзаючих поверхнях та зменшенні температури нагріву інструменту.

Ступінь зносу може бути визначена за допомогою емпіричних формул, що описують залежність між ступенем зносу та умовами різання за період нормального зносу інструменту

$$h_z = C_h T^p V^m s^n t^q. \quad (1)$$

У цій формулі $m > n > q$, тобто швидкість різання, найбільше впливає на знос, потім подача та менше глибина різання. Звідси випливає, що інтенсивність впливу параметрів режиму різання на знос така ж, як і на температуру різання[14].

1.1.5 Критерії зносу інструмента

Знос інструменту впливає на сили різання (тертя на задній частині збільшується), температуру різання, параметри шорсткості оброблюваної поверхні, точність обробки та вібрацію. Тому повинні бути встановлені критерії, які допоможуть нам визначити час, після закінчення якого різець повинен бути знову переточений.

Існує декілька критеріїв зносу різців.

Критерій блискучої смужки. Різець вважається зношеним і повинен бути перетоний, якщо під час обробки сталі на поверхні різання з'являється блискуча смуга (рис. 1.5) і під час обробки чавуну з'являються темні плями. На даний момент окремі частини ріжучої кромки вже починають кришитись, в цих точках різець видавлює ріжучу поверхню і шліфує її, так би мовити. Поява блискучої смужки відповідає початку третього періоду зношення інструменту[14].

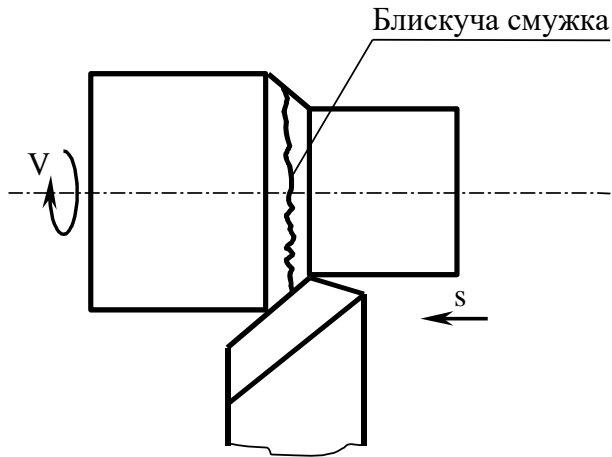


Рисунок 1.5 – Блискуча смужка на поверхні різання

Під час роботи з твердосплавними різцями, смужку та плями важко виявити.

Силовий критерій (критерій Шлезінгера). Різак вважається тьмяним, якщо починається сильне збільшення сили, особливо при P_y і P_x . Недоліком цього методу є необхідність використання спеціальних приладів для вимірювання сил, що діють на машину.

Критерій оптимального зносу. Оптимальний знос - це знос, який має найдовший термін експлуатації інструменту. Загальний термін корисного використання інструменту M визначається як добуток кількості k повторного обмотування, що дає змогу розміру пластини для заданої кількості зносу за час роботи T , протягом якого відбувається цей знос, тобто кількість зносу

$$M = kT. \quad (2)$$

Кількість переточувань, яку дозволяє розмір пластини, при її зносі по передній поверхні (рис. 1.6, а)

$$K_1 = \frac{\frac{2}{3}C}{h_n + \Delta}, \quad (3)$$

де C – товщина пластини, мм;

h_n – глибина лунки, мм;

Δ – допуск на заточування. $\Delta = 0,1-0,2$ мм.

Кількість переточувань, яку допускає розмір пластини при зносі по задній поверхні (рис. 1.6, б), визначається через знос в напрямку передньої поверхні p :

$$p = a / \cos \gamma; \quad a = h_3 \operatorname{tg} \alpha, \quad (4)$$

тоді

$$p = h_3 \operatorname{tg} \alpha / \cos \gamma. \quad (5)$$

Звідси

$$K_2 = \frac{\frac{2}{3} B}{\frac{h_3 \operatorname{tg} \alpha}{\cos \gamma} + \Delta}, \quad (6)$$

де B – довжина пластини, мм.

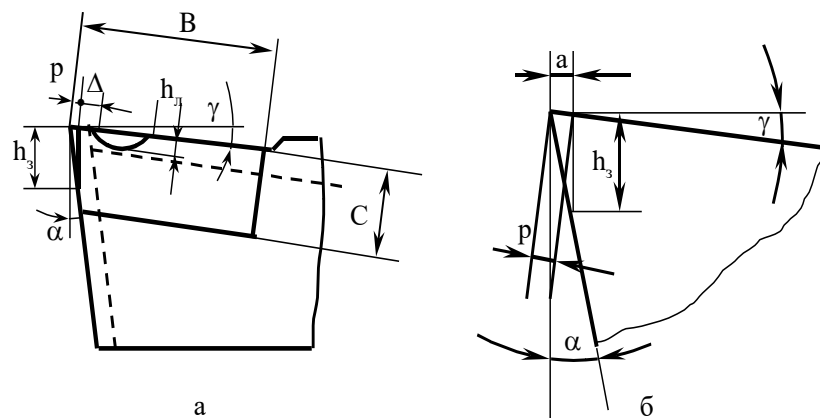


Рисунок 1.6 – Розрахункові схеми для визначення кількості переточувань

Залежність загального терміну роботи різця від величини допустимого зносу по задній поверхні має вигляд (рис. 11.7)

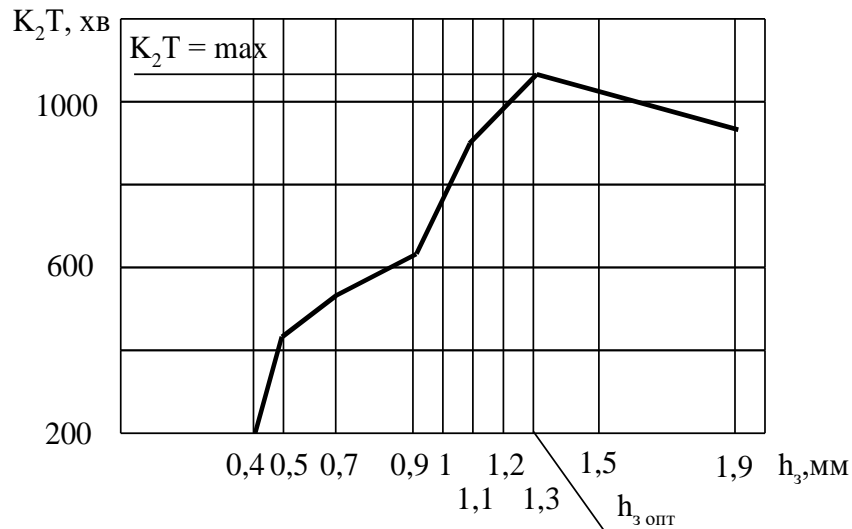


Рисунок 1.7 – Вплив величини зносу на загальний термін роботи інструменту

Критерій оптимального зносу застосовується в дослідженнях для визначення ріжучих властивостей чорнових та попередньо обробних інструментів. Він також може бути використаний у виробничих умовах для інструментів, призначених для обробки деталей масового виробництва, а також для дорогих і важких у виробництві інструментів[14].

Технологічний критерій. Цей критерій використовується для інструменту, призначеного для чистової обробки. Важливим є те, що інструмент вважається зношеним, якщо оброблена поверхня більше не відповідає технічним умовам (рис. 1.8).

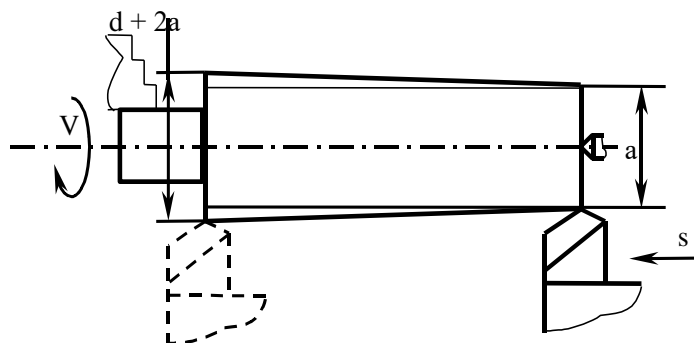


Рисунок 1.8 – Схема, яка пояснює сутність технологічного критерію

З розглянутих критеріїв найчастіше використовується критерій оптимального зносу та технологічний критерій .

Для обертання розточувальних і ріжучих інструментів із твердосплавними вставками рекомендовано такі значення зносу по тильній поверхні:

а) при чорновій обробці сталей $h_z = 1,0-1,4$ мм, при чистовій – $0,4-0,6$ мм;

б) при чорновій обробці чавуна $h_z = 0,8-1,0$ мм, чистовій – $0,6-0,8$;

в) для відрізних різців $h_z = 0,8-1,0$ мм.

Для оцінки якості ріжучого інструменту використовуються інші критерії: відносна швидкість зносу (відношення зносу задньої поверхні або радіального зносу до довжини шляху різання або площі оброблюваної поверхні); значення норми зносу, виражене в мм³ або мг зношеної маси інструменту на 1 метр обрізного шляху або на 1 см² оброблюваної поверхні[14].

1.2 Руйнування та надійність інструменту

1.2.1 Руйнування робочої частини інструмента

Крім поступового зносу, інструмент може вийти з ладу через руйнування його робочої частини. Руйнування може бути крихким або пластичним.

Крихкий перелом відбувається під впливом найбільших напружень при розтягуванні і є наслідком зародження та розвитку тріщин. Ви повинні розрізняти кришіння і сколи. Кришіння проявляється в осаді дрібних клинових частинок на головній ріжучій кромці і, як правило, пов'язане з поверхневими дефектами в інструментальному матеріалі, неоднорідністю мікроструктури та залишковими напруженнями. Сколи - це відокремлення з відносно великими обсягами інструментального матеріалу, які перевищують об'єм клину в межах контакту поверхні з стружкою (мал. 1.9).

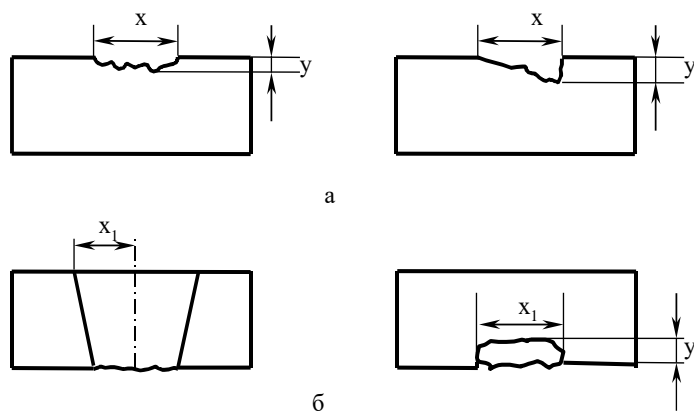


Рисунок 1.9 – Руйнування леза інструменту сколюванням

а – вигляд сколів на передній поверхні леза;

б – вигляд сколів на задній поверхні леза

Величини y , y_1 близькі за розміром з шириною контакту стружки з передньою поверхнею, x , x_1 – близькі за розміром з шириною зрізу.

Відламки істотно залежать від розміру кута передньої поверхні та кута заточення. Найбільший вплив має товщина зрізу. Швидкість різання під час безперервного різання не впливає на стружку. Стружки для конкретного інструментального матеріалу та форма ріжучої частини інструменту залежать від міцності на розрив при одноосному напруженні та стійкості до втоми та удару під час переривчатого різання[14].

Сталі з високою швидкістю менш чутливі до крихких руйнувань, ніж тверді сплави. Для твердих сплавів користь від цього показника повинна бути в однокарбідних сплавах.

Силове навантаження інструменту - не єдина причина крихкого перелому. При перерваному різанні не менш важливі термічні напруги, особливо це стосується інструментів із твердосплавними вставками.

Пластичний перелом характеризується потоком тонких шарів інструментального матеріалу переважно вздовж задньої поверхні різця. Пластичне руйнування під час безперервного різання відбувається з певною швидкістю різання. Через пластичне руйнування інструментальний клин

втрачає свою нормальну форму і основна ріжуча кромка не може відрізати шар, який залишається під обробкою[14].

1.2.2 Надійність інструменту

Надійність - це властивість інструменту виконувати обробку, зберігаючи показники роботи відповідно до експлуатаційних вимог протягом певного періоду часу. Надійність інструменту, продуктивність обробки та якість готових деталей відповідно до суміжних концепцій; З підвищенням продуктивності зростає і надійність інструменту, і часто якість продукції.

Надійність виробу визначається надійністю, ремонтпридатністю та довговічністю.

Надійність - здатність інструменту протягом певного часу залишатися функціонуючою без вимушених перерв. Важливо розрізняти несправність через несправність інструменту і несправність через невідповідність вимогам технічної документації. Помилки інструменту поділяються на конструктивні, викликані недоліками конструкції, та технологічні, спричинені несправними виготовленням та експлуатацією. Поломка інструменту пов'язана з частковою або повною втратою працездатності. Таким чином, несправність можна усунути, якщо продуктивність можна усунути шляхом повторного виправлення або ремонту (знос, кришіння) і не підлягає відновленню; в останньому випадку інструмент списується (стружка, руйнування пластини, розпушування пластини, руйнування корпусу)[14].

Час роботи інструменту може бути виражений як час роботи τ_i до кожної відмови як загальний час роботи $\Sigma \tau_i$ та повної відмови. У масовому виробництві зручніше визначати ці властивості за кількістю деталей Z_0 , оброблених цим інструментом у разі помилки, і - аж до непоправної помилки.

Доступність інструменту визначається ймовірністю його доступності та відмовою.

Ймовірність безпроблемної роботи $P(\tau)$ (вірогідність) вказує на ймовірність того, що інструмент не вийде з ладу протягом певного часового проміжку.

Коефіцієнт відмови $\lambda(\tau)$ визначається ймовірністю виходу з ладу за одиницю часу після певного часу обробки, якщо тільки збій не стався до цього часу; Таким чином можна визначити причину помилки.

Ремонтопридатність - особливість інструменту, яка полягає у його пристосованості до запобігання, виявлення та усунення несправностей та несправностей внаслідок технічного обслуговування та ремонту. Час на ремонт інструменту складається з часу, витраченого на заточку, заміни складання інструменту, заміни та налаштування його. Ремонтопридатність інструменту оцінюється середнім часом відновлення τ_{gi} або середнім загальним часом відновлення $\Sigma \tau_{gi}$.

Довговічність - здатність інструменту залишатися в роботі з перервами, необхідними для технічного обслуговування та ремонту до остаточного стану. Термін служби інструменту D кількісно визначається на основі тих же характеристик, що і надійність, якщо враховувати лише серйозні помилки.

Збереження - здатність інструменту зберігати свої експлуатаційні характеристики протягом та після терміну придатності та тривалості, зазначених у технічній документації.

Індикатор надійності має особливе значення в умовах гнучких автоматизованих виробництв. У цьому випадку виникає потреба в автоматизованій діагностиці функціональності інструменту. Для цього використовуються автоматичні діагностичні прилади, які працюють за принципом зондування та візуального принципу з подальшою обробкою інформації на комп'ютері (за межами зони обробки)[14]. Під час різання стан інструменту діагностується шляхом зміни сил різання, термоелектрорушійної сили, вимірювання зносу термopарами за допомогою акустичних систем.

1.3 Аналіз методів та засобів контролю зношування різального інструменту

Методи контролю зносу інструменту можна розділити на прямі (прямі) та непрямі, які виконуються під час роботи машини та поза нею під час процесу різання або з перериванням процесу різання [20].

1.3.1 Методи безпосереднього контролю

Методи прямого контролю зносу інструменту поза машиною описані в [16,17]. Ці методи можна застосовувати лише в лабораторних умовах, оскільки вони вимагають припинити процес різання, вийняти інструмент з верстата і, в той же час, витратити багато часу.

Про методи прямого контролю зносу інструменту на верстаті Методи, засновані на використанні скляних волокон, склеєних Контактний датчик, електричний реєстр [16], а також шляхом зняття Враження поверхні інструменту [17]. Недоліками вищевказаних методів є необхідність перервати процес різання, складність та складність здійснення.

Спосіб контролю зносу інструменту під час різання лазерна технологія описана в [18]. На гірку каретки встановить лазер, що випромінює паралельний промінь відправляється до ріжучої кромки і розділяється навпіл одночасно. У міру збільшення зносу інструменту відносно положення краю на заготівлі змінюється, відокремлюючи брус. Однак значна складність процесу та його несприйнятливості до втручання не дозволяють широко використовувати у виробничих умовах.

В [19,20] результати використання радіоактивних ізотопів як метод контролю зносу інструменту. Застосування цього методу не працює. Це дозволяє використовувати поверхню інструменту, щоб оцінити, яке знос відбувається кількість зносу в числовій формі. Крім того, реалізація методу утруднена необхідністю радіаційного захисту.

1.3.2 Непрямі методи контролю

Залежно від вимірюваних непрямих параметрів методи контролю зносу інструменту можна розділити на чотири основні групи [15]:

- вимірювання параметрів заготовки;
- вимірювання теплових і електричних характеристик зони різання;
- віброакустичні вимірювання;
- вимірювання силових параметрів.

В свою чергу остання група по силових параметрах ділиться на п'ять підгруп, які засновані на вимірюванні наступних параметрів процесу різання: сили різання, потужність різання, крутного моменту, струм якоря двигуна головного приводу.

На відміну від прямих методів контролю зносу різального інструменту непрямі методи значною мірою використовуються на практиці, безпосередньо в процесі механічної обробки.

Найбільше поширення в промисловості набули наступні методи діагностики різального інструменту [15]:

- метод оснований на вимірюванні температури різання;
- метод оснований на віброакустичних вимірюваннях;
- метод оснований на вимірюванні потужності різання;
- метод оснований на вимірюванні сили різання.

1.3.3 Аналіз методів діагностики на основі вимірювання температури або термоЕРС в зоні різання

Найпростіша схема вимірювання ЕРС різання приведена в підручнику під редакцією С.Н. Григор'єва (рисунок 1.10) [1]. Токарний верстат оснащується струмознімачем, який встановлюється на задній частині шпинделя і з'єднується з вимірювальним приладом з великим електричним опором. Другий же вхід приладу з'єднується з ріжучим інструментом.

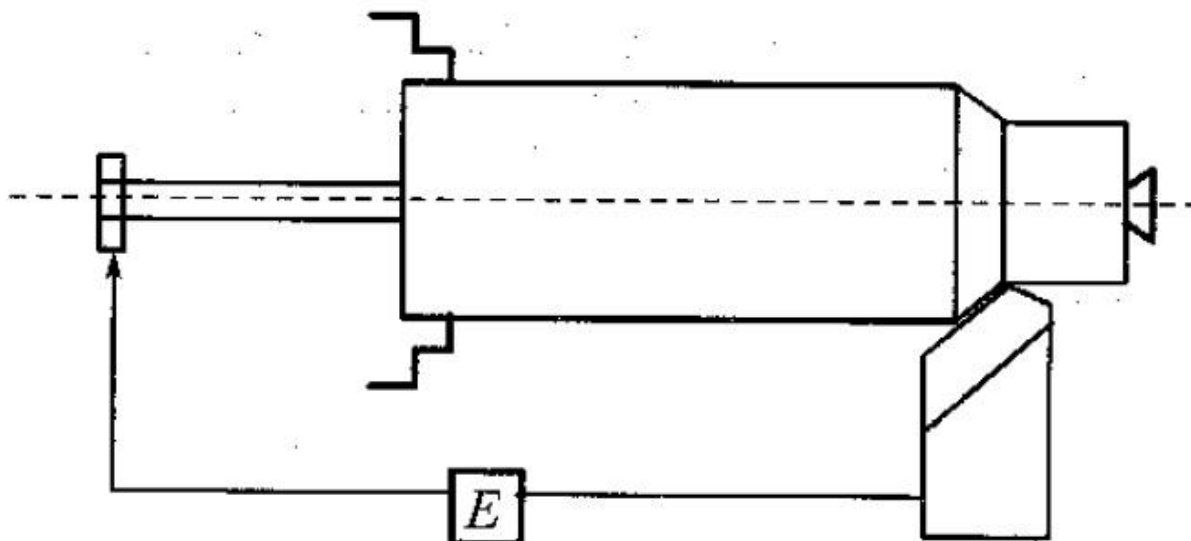


Рисунок 1.10 – Вимірювання ЕРС різання

Принцип визначення зносу при цьому полягає в наступному. У процесі формування зносу інструменту, збільшуються площадки контакту між заготовкою і інструментом. І в залежності від розташування осередку зародження знос буде рости або зменшуватися яка вимірюється величина ЕРС. У числі переваг цього методу Григор'єв С.М. і його співавтори відзначають, що для обробки сигналу ЕРС не потрібно спеціальних перетворювачів, так як відразу на виході виникає електричний сигнал. Однак серед недоліків методу можна відзначити виникнення перешкод у вигляді паразитних ЕРС, які вносять похибки в результат оцінки зносу інструменту, а також необхідно відзначити найважливіший недолік методу на сьогоднішній момент: верстати необхідно обладнати струмознімачами, які на нинішньому своєму технічному рівні реалізації мають низьку надійність.

Якщо ж розглядати пряме вимірювання температури різання як метод діагностики інструменту, можна виділити два основних шляхи реалізації цього підходу. У конструкцію збірного інструменту вводиться мікротермопар, за допомогою якої вимірюється безпосередньо температура різця в зоні різання. Цей метод володіє низькою швидкістю і значно збільшує вартість інструменту, внаслідок чого він не знаходить застосування за межами дослідницьких лабораторій. Другий же метод заснований на

безконтактних вимірюваннях температури в зоні різання, в тому числі за допомогою лазерних пірометрів. Подібний метод в сукупності з іншими, більш традиційними, описаний в роботі професора Макарова В.Ф. і його колег [22]. Безконтактний датчик температури встановлюється на верстаті, і промінь лазера направляється на змінну ріжучу пластину. Однак внаслідок високої вартості пірометрів, відносно низької точності вимірювання температури і потенційної неможливості застосування пірометрів через використання мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) в даний час подібний метод діагностики стану інструменту є виключно лабораторним.

1.3.4 Метод вібродіагностики і віброакустичної діагностики

Метод вібродіагностики останнім часом привертає все більшу увагу фахівців в Україні і за кордоном [23]. У статті [24] описується метод на основі порівняння вібрації з датчика вібрації з еталонним вібросигналом (з дефектами). Вихідними даними при цьому є характеристики досліджуваного сигналу, а на виході формується повідомлення про результати контролю стану різального інструменту [24]. Серед переваг даного підходу слід зазначити відносну простоту алгоритмів визначення дефектів ріжучого інструменту. На жаль, в роботі не наводяться дані про технічну реалізацію системи моніторингу. Як недолік даного методу можна відзначити відсутність універсальності підходу, так як кожен еталонний вібросигнал моделюється і записується для конкретних параметрів процесу різання.

В роботі Козочкина М.П. [25] описується система на основі віброакустичної діагностики. Метод є розвитком методу вібродіагностики і відрізняється можливістю установки датчика вібрації (акселерометра) поза зоною різання, тим самим мінімізуючи вплив нанього мастильно-охолоджувальної рідини (МОР), стружки і т.д. У роботі виявлені діагностичні ознаки зносу інструменту. Найбільші амплітуди сигналів спостерігаються при наявності мікротріщин, акустичні сигнали великої потужності свідчать про різке руйнуванні матеріалу різця. Також

встановлено наявність закономірностей в структурі віброакустичних сигналів, що супроводжують розвиток тріщин в інструменті.

У доповіді [26] авторами наведені результати досліджень взаємозв'язку відгуку системи вимірювання вібрації з зносом різального інструменту. Для цього дослідниками були встановлені датчики вібрації на державку інструменту, як показано на рисунку 1.11. Датчики розташовані по трьох осях інструменту, сигнал з датчиків оброблявся на ЕОМ. У процесі досліджень було проведено 51 спостереження зносу. Перше спостереження відповідає стану нової ріжучої пластини без слідів зносу, а останнє - стану вийшовшого з ладу різального інструменту. Кількісно ступінь зносу по задній поверхні відлічувалася за допомогою оптичного мікроскопа.

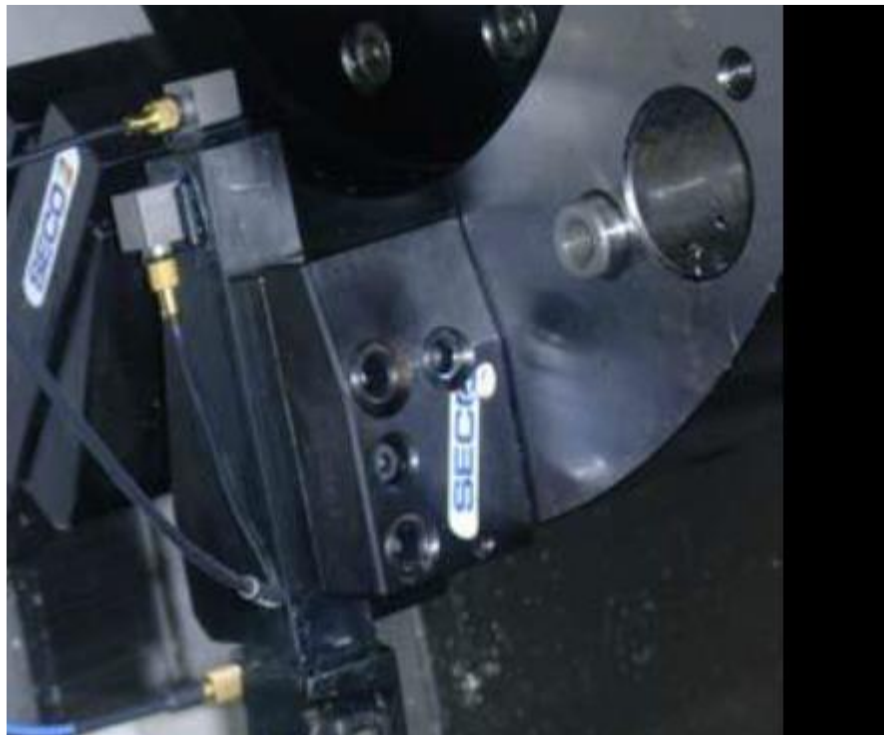


Рисунок 1.11 - Установка датчиків вібрації на токарний інструмент

Слід зазначити, що в представленому в статті експерименті знос був зафіксований тільки з 28-го спостереження, тобто з позначки приблизно 100-140мкм, що становить близько 50% від заявленого максимально допустимого значення. Низька чутливість методу може бути чинником, що істотно обмежуючим можливості і ефективність його застосування в виробничій практиці.

1.3.5 Аналіз методу діагностики на основі вимірювання потужності, споживаної двигуном верстата

В основу роботи [27] Альошіна С.В., Сінопальнікова В.А., Соколова О.А. і Філатова В.В. покладено той факт, що будь-яка зміна режиму обробки, що характеризується різкими або випадковими змінами технічного стану ріжучого інструменту, повинна викликати зміни моменту навантаження на вал двигуна, а відповідно, і реакцій двигуна, зокрема електромагнітного моменту, сили струму в обмотках, частоти обертання ротора і потужності, споживаної двигуном. На основі методу була розроблена інформаційно-вимірювальна підсистема (рисунок 1.12), побудована на базі сукупності датчиків струмів і напруг.

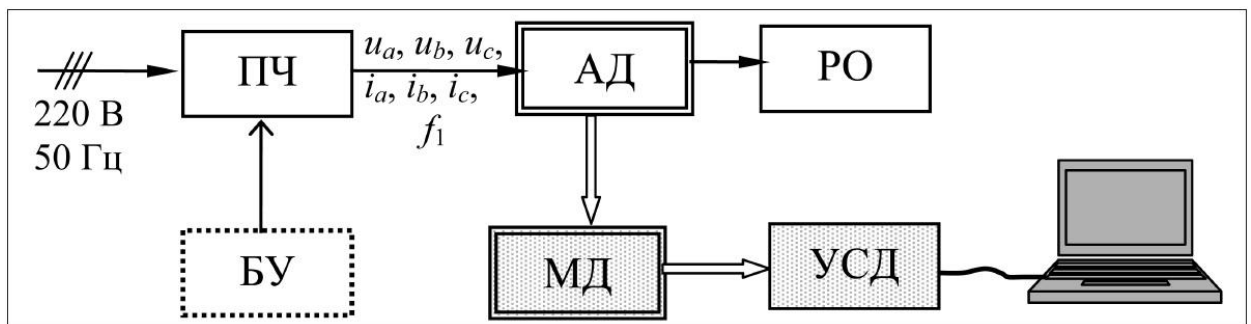


Рисунок 1.12 - Функціональна схема інформаційно-вимірювальної підсистеми

На рисунку 1.12: АД - асинхронний двигун; БУ - блок управління, призначений для пуску і зупинки двигуна; ПЧ - перетворювач частоти, що перетворює мережеву напругу 220В і частоту струму 50 Гц для живлення АД ; МД - модуль датчиків струмів і напруг; УСД - пристрій збору даних, що забезпечує оцифровку даних з первинних перетворювачів і передає інформацію на портативний комп'ютер для подальшої обробки.

Авторами роботи отримані експериментальні залежності, які свідчать про збіг характеру зміни графіка залежності сили різання і моменту від часу обробки. Однак для переходу до кількісної оцінки значення зносу в процесі обробки необхідно створення сукупності об'ємних, багатфакторних математичних і імітаційних моделей всього приводу верстата.

Слід зазначити принципові недоліки методу діагностики стану інструменту на базі вимірювання потужності, моменту і інших пов'язаних з цими параметрами величин. В роботі [25] Козочкин М.П. міркує про те, що в даний час в автоматизованому виробництві використовуються в основному багатофункціональні верстати, за допомогою яких можливо отримати готову деталь з однієї установки. Такі машини виконують і чистову, і чорнову обробку. Виникає і різниця в використовуваному інструменті, яка виражається в відмінності розмірів і інших параметрів інструменту. При чистовій обробці дрібним інструментом споживана потужність значно менша, ніж варіації холостого ходу приводу, розрахованого і на чорнову обробку. Але ж поломки такого інструменту складають основну частину відмов інструменту при обробці. Ці поломки за допомогою контролю потужності приводу або не виявляються, або виявляються з серйозним запізненням, що збільшує ймовірність появи браку [28].

1.3.6 Аналіз методу діагностики на основі вимірювання сили різання

Найбільш описаним і поширеним методом діагностики ріжучої кромки інструменту є метод на основі вимірювання сили різання і пов'язаних з нею крутного моменту і споживаної потужності [25]. В роботі [29] детально описаний динамометр, розроблений авторами, його технічні характеристики і особливості використання. Однокомпонентний динамометр (рисунок 1.13) здатний вимірювати складову сили різання P_z , а також за допомогою нього можлива оцінка зносу інструменту в процесі тривалого точіння. На жаль, в статті докладно не описаний механізм визначення зносу інструменту. Однак самі автори відзначають, що не всі динамометри підходять для вирішення завдання визначення зносу шляхом вимірювання сили P_z , так як «гістерезис і температурно-силові деформації пружно-демпферного системи динамометра збільшують похибку вимірювань, яка може перевищити значення сили P_z [29]. Висновку про те, чи підходить описаний в статті динамометр для вирішення подібних завдань, в статті не наведено.

Варто додати, що динамометри не є підходящим інструментом для використання в цеху на виробництві, так як мають високу вартість, вимагають додаткового простору в супорті верстата, а також негативно впливають на жорсткість системи обробки [30].



Рисунок 1.13 - Однокомпонентний динамометр Dyna-z

В дисертації Григор'єва А. С. [31] наведено порівняльну таблицю систем діагностування процесу обробки. У ній розглянуті сім систем діагностики, в тому числі шість зарубіжних, інтегрованих з системами ЧПУ: PROMETEC PRomos (Німеччина), NORDMANN (Швейцарія), ARTIS Orantec (США), MONTRONIX DiagnosticTools (Німеччина), BrankampIMBoard (Німеччина), Brancamp CMS (Німеччина), MachineToolDiagnostics (Росія). В усіх системах, крім Brancamp CMS, відображення результатів роботи системи здійснюється у вигляді графіка залежності сили різання від часу.

Більшість описаних систем мають в своєму складі велику кількість датчиків (сили різання, акустичної емісії, потужності, вібродатчики), що серйозно ускладнює установку їх на верстат і знижує надійність технологічної системи.

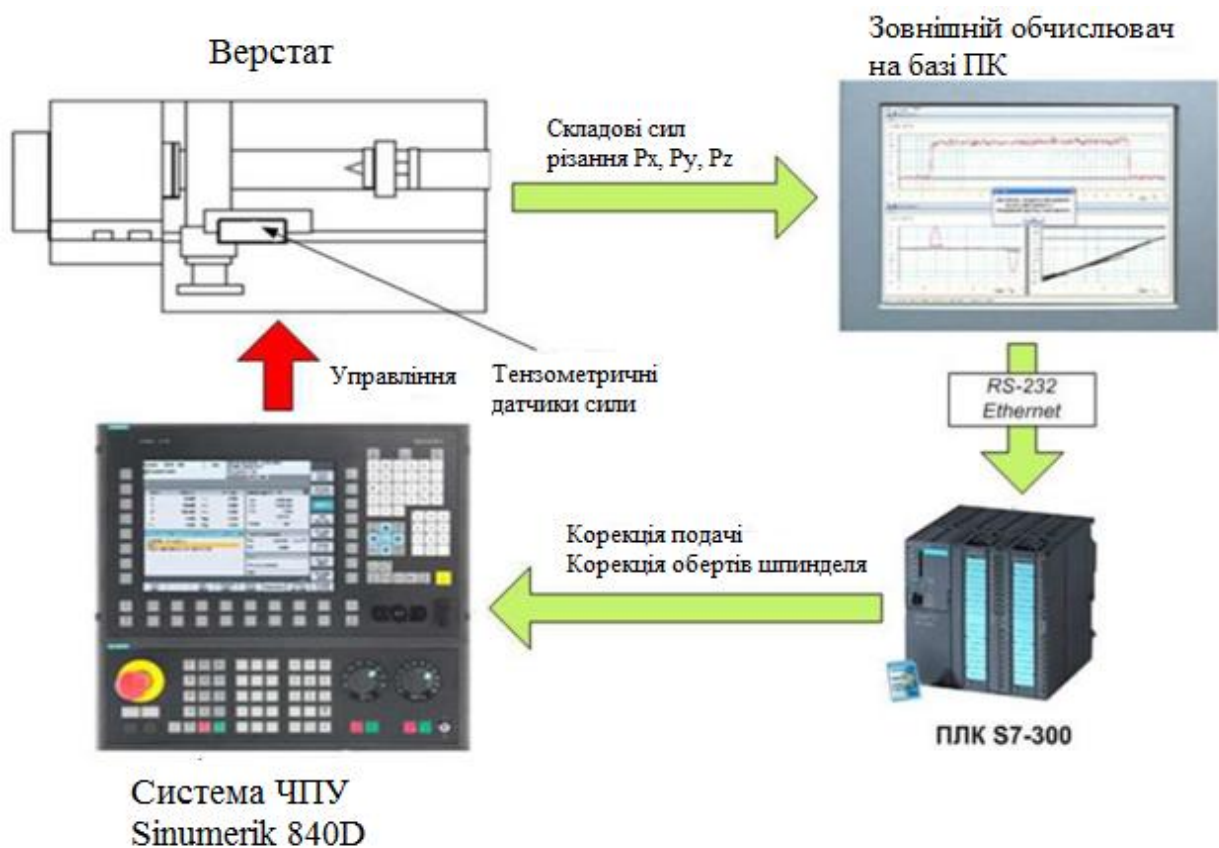


Рисунок 1.14 - Принципова схема системи Machine Tool Diagnostics

Однак варто зазначити, що система Machine Tool Diagnostics також не позбавлена недоліків, характерних для систем вимірювання сил різання за допомогою тензометричних датчиків. Наприклад, мінімального рівня помилок можливо досягти лише при правильній установці датчиків в різцетримач, що накладає ряд обмежень і вимог до нього.

В якості загальних проблем методу діагностики на базі вимірювання сил різання інструменту Козочкин М.П. вказує непопулярність установки в вузли верстатів динамометричних пристосувань. Це обумовлюється ускладненням конструкції верстата, зниженням універсальності обладнання і виникненням проблем з жорсткістю пружної системи і з надійністю роботи самих пристроїв.

Висновки по розділу

Проведений аналіз робіт в області досліджування зносу різального інструменту показав актуальність даної теми. Підвищення стійкості

інструменту у виробництві може суттєво підвищити точність і продуктивність обробки, що в свою чергу підвищить рентабельність виробництва і якість отриманої продукції. Даною проблемою займається велика кількість вчених по всьому світі, розроблено багато методик дослідження зношування різального інструменту, проте актуальність даної теми всеж таки залишається значною.

Було розглянуто види зношування різального інструменту, а також проведено аналіз, якими методами можна проводити моніторинг зносу різців. Ми бачимо, що розроблено велику кількість методів діагностики, проте на даний момент їх впровадження у виробничу практику не носить масового характеру. Обумовлено це тим, що існуючі методи діагностики мають цілий ряд істотних недоліків, які накладають багато обмежень в їх використанні поза наукової лабораторії, тобто на виробництві. До таких недоліків можна віднести високу ціну готового комплексу діагностичного обладнання, зниження жорсткості системи обробки, чутливість до зовнішніх впливів (акустичних шумів, вібрації, наявності МОР), складність установки первинних перетворювачів та ін.

2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДІВ

2.1 Розробка математичної моделі розмірного зносу леза різця від часу різання

При обробці поверхонь валів на токарних верстатах величина їх діаметральні розмірів у міру переміщення різця вздовж осі оброблюваної заготовки змінна і залежить від зносу інструменту. Найбільше з поверхонь, що утворюють леза різця, зношується його задня поверхня яка в порівнянні з передньою має в 2 ... 4 рази більшу швидкість взаємного переміщення інструменту і заготовки.

Розмірний знос леза різця може бути представлений наступною математичною моделлю, визначеною системою рівнянь [32]:

$$\delta_p = h_z \cdot K_p; \quad (7)$$

$$h_z = a_c \cdot \tau^{n_0} \quad (8)$$

де δ_p – величина розмірного зносу різця, мкм;

h_z – поточна величина зносу задньої поверхні різця, мкм;

K_p – коефіцієнт зміни лінійного зносу задньої поверхні різця в радіальний (розмірний) знос леза, $K_p = \tan \alpha_z$;

α_z – задній кут заточки різця;

a_c – коефіцієнт, що враховує величину зносу задньої поверхні за час $\tau = 1$ хв.

Величина зносу задньої поверхні різця (рисунок 1.1) визначається з такої залежності [3]:

$$h_z = a_c \cdot \tau^{n_0} = \frac{\delta_0}{T_0^{n_0}} \cdot \tau^{n_0} \quad (9)$$

де δ_0 – оптимальна величина зносу задньої поверхні різця, мкм;

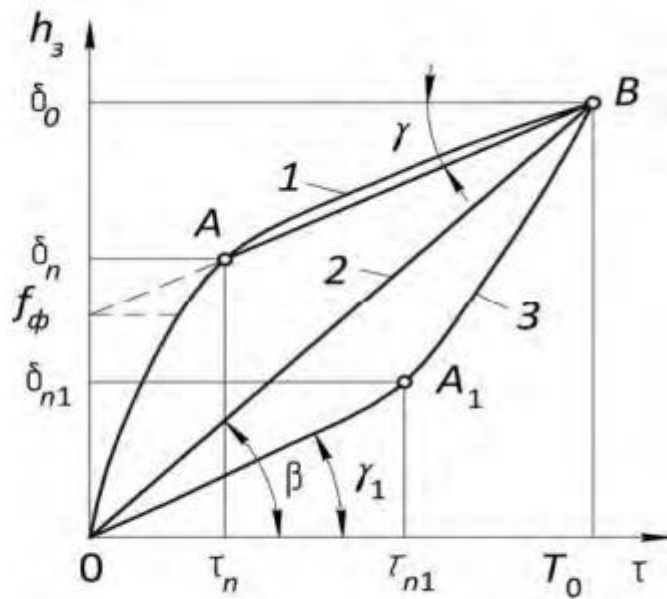
τ , T_0 – час різання і період стійкості різця, мкм;

n_0 – показник степені.

Поточну швидкість зношування задньої поверхні різця можна визначити з (9) через похідну $dh_z / d\tau$ [32]:

$$V_{из} = \frac{\delta_0}{T_0^{n_0}} \cdot n_0 \cdot \tau^{n_0-1}, \quad (10)$$

де $V_{из}$ – поточна швидкість зношування леза, мкм /хв.



1 – $n_0 < 1,0$; 2 – $n_0 = 1,0$; 3 – $n_0 > 1,0$

Рисунок 2.1 – Залежність зносу різця від часу різання

Використовуючи залежність (1.4), легко визначаються середня швидкість зношування за період стійкості різця, величини періоду припрацювання і усталеного (нормального) зношування леза, величина зношування леза і середня швидкість зношування за ці періоди [32]:

$$V_0 = \frac{\delta_0}{T_0}; \quad (11)$$

$$V_1 = \frac{\delta_0}{T_0} \cdot \frac{1}{n_0} = V_0 \cdot \frac{1}{n_0}; \quad (12)$$

$$V_2 = \frac{\delta_0}{T_0} \cdot n^{0,6} = V_0 \cdot n^{0,6}; \quad (13)$$

$$\tau_n = T_0 \cdot n_0^{\frac{1}{1-n_0}}; \quad (14)$$

$$\tau_H = T_0 \cdot \left(1 - n_0^{\frac{1}{1-n_0}}\right) = T_0 - \tau_n; \quad (15)$$

$$\delta_n = \delta_0 \cdot n_0^{\frac{1}{1-n_0}}; \quad (16)$$

$$\delta_H = \delta_0 \cdot \left(1 - n_0^{\frac{1}{1-n_0}}\right) = \delta_0 - \delta_n, \quad (17)$$

де V_1, V_2, V_0 – середні швидкості зношування задньої поверхні різця за

період припрацювання, усталеного (нормального) зносу (при $n_0 < 1,0$) і період стійкості інструменту, мкм / 40аб;

τ_n – тривалість періоду припрацювання при $n_0 < 1,0$ і періоду усталеного зносу при $n_0 > 1,0$;

τ_n – тривалість періоду усталеного зносу при $n_0 < 1,0$ і прискореного зношування леза при $n_0 > 1,0$;

δ_n – величина зносу задньої поверхні різця за період припрацювання при $n_0 < 1,0$ і за період усталеного зносу при $n_0 > 1,0$;

δ_n – величина зносу задньої поверхні різця за період усталеного зносу при $n_0 < 1,0$ і прискореного зносу при $n_0 > 1,0$.

При $n_0 = 1,0$ маємо рівність швидкостей зношування за період припрацювання і усталеного зносу, тобто величина зносу від часу різання – це пряма лінія під кутом 45° щодо осі абсцис.

При $n_0 < 1,0$ спочатку маємо так званий період припрацювання, а потім слідує період усталеного зношування леза. При $n_0 > 1,0$, навпаки, спочатку маємо період усталеного зносу, а потім період прискореного зносу леза. Величина розмірного зношування ножа визначається по залежності (1.1).

2.2 Розробка математичної моделі періоду стійкості і ресурсу роботи лезового інструменту

При обробці конструкційних і легованих сталей та інших сплавів інструментами з однокарбідних і двухкарбідних твердих сплавів зв'язок між швидкістю різання V і періодом стійкості T_0 інструменту представляється у вигляді плавної куполоподібної кривої з двома точками В і В1 перегину і точкою А максимуму (рисунок 2.2), координати яких знаходять по математичній моделі представленої у формі рівнянь (18) – (20) [33].

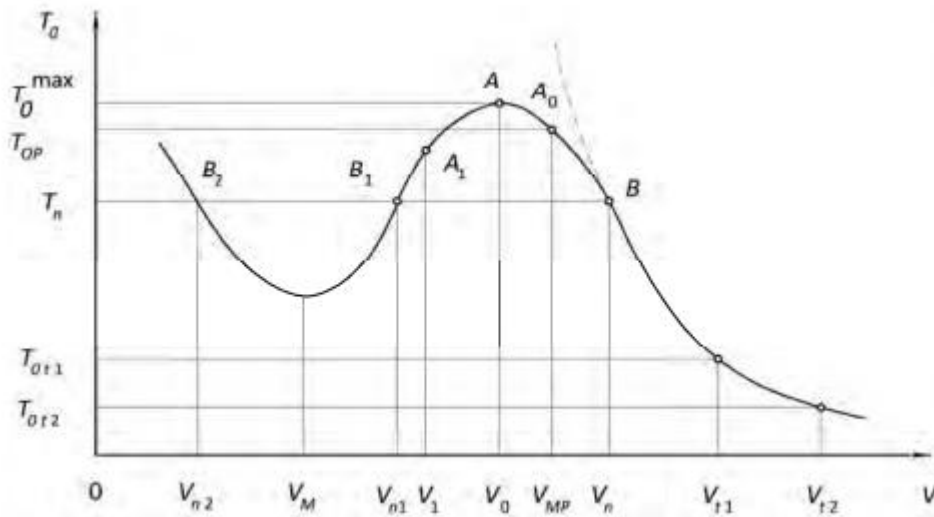


Рисунок 2.2 – Зміна періоду стійкості від швидкості різання

$$V_n = C^{1,25} \cdot \left(\frac{U_0}{1000 \delta_0 \cdot K_p} \right)^{0,25}; \quad (18)$$

$$T_n = \frac{1000 \cdot \delta_0 \cdot K_p}{V_n \cdot U_0}, \quad (19)$$

де

$$C = \frac{C_v \cdot K_v}{t^x \cdot S^y}, \quad (20)$$

$$K_v = K_M \cdot K_n \cdot K_H, \quad (21)$$

де V_n – швидкість різання, яка відповідає точці В перегину, м /хв;

T_n – період стійкості інструменту при швидкості різання V_n , хв;

U_0 – відносний радіальний (розмірний) знос інструменту, $U_0 = 5 \dots 7$ мкм / м – для сталі;

Δ_0 – оптимальний (допустимий) знос задньої поверхні різця, мкм;

K_p – коефіцієнт зміни лінійного зносу задньої поверхні в розмірний;

$K_p = \operatorname{tg} \alpha_3$ (де α_3 – задній кут заточки різця);

t – глибина різання, мм;

S – подача, мм / об;

C_v, K_v – коефіцієнти (дані в [5]); $C_v = 420 (350, 340)$;

x, y – постійні показники ступеня, визначаються з [5]; $x = 0,15$;

$y = 0,2 (0,25; 0,43)$;

K_M, K_n, K_H – коефіцієнти, що характеризують міцності

оброблюваного матеріалу, стан поверхні заготовки і марку твердого сплаву інструменту відповідно ([34]).

Період стійкості T_0 для правої частини кривої, що лежить правіше точки В, при $V \geq V_n$ визначається з наступних рівнозначних залежностей[4]:

$$T_0 = \left(\frac{C}{V}\right)^{\frac{1}{m}} = \left(\frac{C}{V}\right)^5; \quad (22)$$

$$T_0 = T_n \cdot \left(\frac{V_n}{V}\right)^5, \quad (23)$$

де m – показник відносної стійкості, $m = 0,2$ (для сталі).

Період стійкості для частини кривої, розташованої лівіше точки В(V_n, T_n), при $V_m \leq V \leq V_n$ (див. Рисунок 2.2) визначається із залежності:

$$T_0 = \frac{T_n \cdot \sqrt{e}}{e^{\frac{1}{2} \left(5 \frac{V}{V_n} - 4\right)^2}} \quad (24)$$

При аналізі вираження (2.7) отримуємо:

$$V_0 = \frac{4}{5} \cdot V_n; \quad (25)$$

$$T_0^{max} = T_n \cdot \sqrt{e} = 1,65 T_n \quad (26)$$

Де V_0 – швидкість різання, що відповідає максимальному періоду стійкості інструменту, м / 42аб;

T_0^{max} – максимальний період стійкості лезвийного інструменту, хв

Координати лівої точки В₁ (V_{n1}, T_{n1}) визначаються з виразів:

$$T_{n1} = T_n, \quad V_{n1} = 0,6 V_n \quad (27)$$

Під мірою кількісної оцінки ресурсу роботи інструменту частіше розуміється максимальна довжина робочого шляху різання L за період його стійкості. Тоді математична модель ресурсу роботи має вигляд:

$$L = V \cdot T_0 \quad (28)$$

З аналізу залежності (2.11), з урахуванням (2.7), отримаємо:

$$V_{тр} = \left(0,4 + \frac{1}{\sqrt{5}}\right) \cdot V_n = 0,847 \cdot V_n \quad (29)$$

$$T_{op} = 1,603 \cdot T_n, \quad (30)$$

де $V_{тр}$ – швидкість різання, що відповідає максимальному ресурсу роботи інструменту, м / хв;

$T_{ор}$ – період стійкості, що відповідає швидкості $V_{тр}$, хв.

2.3 Залежність стійкості різального інструменту від швидкості різання

Швидкість різання суттєво впливає на продуктивність процесу різання. Тому при різанні деталей слід використовувати більш високі швидкості різання. Однак також відомо, що термін зберігання леза T , тобто його робочий час у хвиликах між двома переточуваннями, значно змінюється залежно від швидкості. Для різців з карбіду вольфраму в металургійній обробці ця залежність переходить через максимум із збільшенням швидкості різання V [35].

Крива $T=f(V)$, показана на рис. 1 має найвищу точку 2 з максимальним значенням стійкості T_{max} і точкою повороту 3 цієї кривої.

Зазвичай при повороті сталей з твердосплавними різакми ліва гілка цієї кривої не використовується, оскільки це економічно недоцільно. На практиці регенерація сталей здійснюється твердосплавними фрезами зі швидкістю $V_2 \dots V_5$, що дозволяє підвищити продуктивність обробки та знизити витрати на фрезерний інструмент [36].

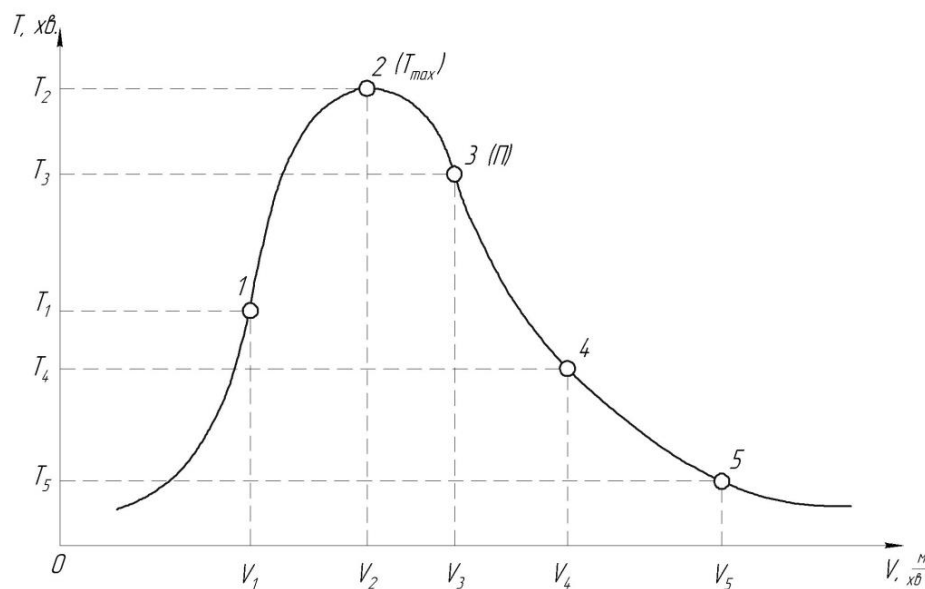


Рисунок 2.3 – Залежність тривалості опору від швидкості різання

Апроксимація графічної залежності $T=f(V)$ описується таким рівнянням:

$$T = C_T \cdot V^a \cdot e^{-bV}, \quad (31)$$

де C_T – коефіцієнт; a – показник степеню при швидкості різання V ; b – коефіцієнт при V в експоненціальному напрямку функції.

Наближення результатів випробувань при описі експериментальної кривої призначені для пошуку числових значень параметрів C_T , a і b , що містяться в цій кривій.

За даними [37], для знаходження вказаних параметрів найзручніше скласти три рівняння використовуючи координати трьох випадково вибраних точок кривої на рис. 2.3. Отримано наступні вирази:

$$a = \frac{\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) \cdot V_2 - \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) \cdot V_3 + \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right) \cdot V_2 - \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right) \cdot V_1}{\ln(V_1) \cdot V_2 - \ln(V_1) \cdot V_3 + \ln(V_2) \cdot V_3 - \ln(V_3) \cdot V_2 + \ln(V_3) \cdot V_1 - \ln(V_2) \cdot V_1}$$

$$b = \frac{\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) \cdot \ln(V_3) - \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) \cdot \ln(V_2) + \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right) \cdot \ln(V_1) - \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right) \cdot \ln(V_2)}{\ln(V_1) \cdot V_2 - \ln(V_1) \cdot V_3 + \ln(V_2) \cdot V_3 - \ln(V_3) \cdot V_2 + \ln(V_3) \cdot V_1 - \ln(V_2) \cdot V_1}$$

$$C_T = T_2 \cdot e^{\left(\frac{\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) \cdot \ln(V_3) - \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) \cdot \ln(V_2) + \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right) \cdot \ln(V_1) - \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right) \cdot \ln(V_2)}{\ln(V_1) \cdot V_2 - \ln(V_1) \cdot V_3 + \ln(V_2) \cdot V_3 - \ln(V_3) \cdot V_2 + \ln(V_3) \cdot V_1 - \ln(V_2) \cdot V_1} \right)} \quad (34)$$

Опір різців T виражається в хвилинах, виражена залежністю від швидкості різання, не повністю визначає площу оброблюваної ділянки, так як різання відбувається з різною швидкістю [38]. Для розрахунку найменших витрат на різці необхідних для обробки шляхом обробки певної кількості дітей, краще використовувати стійкість різців, не в одиницях часу в хвилинах, а в довжині шляху L , м, який ведеться від ріжучої кромки в напрямку основної лінії руху, де

$$L = V \cdot T \quad (35)$$

У рівнянні (34) замінюємо стійкість T на його значення з рівняння (31) і ми можемо отримати залежність довжини шляху L від швидкості різання V :

$$L = V \cdot C_T \cdot V^a \cdot e^{-bV} = C_T \cdot V^{a+1} \cdot e^{-bV} \quad (36)$$

Права частина рівняння (36) відрізняється від правої частини рівняння (31) – лише показником степеню при швидкості різання V , який зріс на одиницю. У зв'язку з цим швидкість різання, що відповідає максимальному опору різального інструменту буде виражена:

$$V_{L_{max}} = (a + 1)/b \quad (37)$$

Порівнявши значення $V_{L_{max}}$ зі швидкістю $V_{T_{max}}$, ми можемо зробити висновок що:

$$V_{L_{max}} > V_{T_{max}} \quad (38)$$

З цього випливає, що загальна схема залежності опору зносу $T = f(V)$ і $L = f(V)$ остання крива зміщена праворуч відносно першої кривої (Рис. 2.3).

Через те, що потрібна обробка різанням має бути виконана у межі швидкостей різання, які перевищують швидкість $V_{T_{max}}$ найбільшої стійкості різального інструменту, тому більш доцільним нижнім порогом межі швидкостей необхідної обробки різанням є швидкість $V_{L_{max}}$, яка належить найбільшому ресурсу різального інструменту на кривій 2 (рис.2.4).

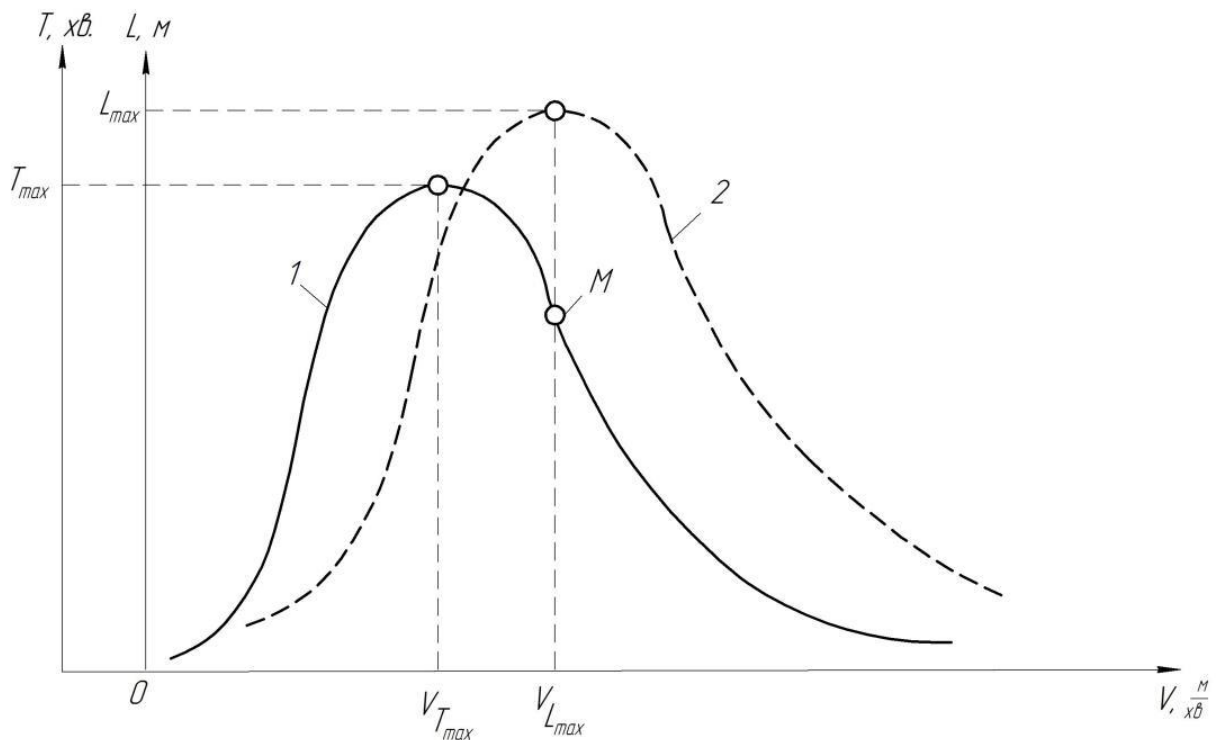


Рисунок 2.4 – Залежність шляху різання і періоду стійкості в залежності від швидкості оброблення

2.4 Вплив матеріалу деталі на стійкість інструменту

Вплив оброблюваного матеріалу деталі на стійкість інструменту проявляється через зміну механічних, теплофізичних властивостей дифузійної пари: оброблюваний матеріал – інструмент. Зміна цих властивостей впливає на стійкість інструменту через температурно-деформаційний канал. Збільшення межі стійкості, зменшення теплопровідності оброблюваного матеріалу приводить до збільшення потужності енерговиділення як в зоні стружкоутворення так і в контактній зоні, що значно піднімає рівень температури в контактній зоні і знижує стійкість інструменту.

Залежно від оброблюваного матеріалу змінюється і величина допустимого лінійного зносу h_z по задній стінці. Як правило при обробці жаростійкої сталі $h_z = 0,8 \dots 1 \text{ мм}$.

2.5 Вибір схеми різання, геометрії інструменту і методики дослідження

Дослідження проводилися при зовнішньому точінні заготовок з хромистої нержавіючої жаростійкої сталі 40X13 мартенситного класу при глибині різання $t=1 \text{ мм}$ і подачі $S=0,2 \text{ мм/об}$.

Геометричні параметри різального інструменту були такими: значення переднього кута було $\gamma=0^\circ$, головний і допоміжний задні кути $\alpha=\alpha_1=10^\circ$, головний кут в плані $\varphi=45^\circ$, допоміжний кут в плані $\varphi_1=25^\circ$, кут нахилу головної ріжучої кромки $\lambda=0^\circ$. Для дослідження контактних процесів і характеристик процесу різання радіус при вершині $r=0,2-0,3 \text{ мм}$.

Оброблення заготовок точінням було виконано на токарно-гвиторізному верстаті 1М63БФ101. Загальний вид верстату наведено на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд верстату 1М63БФ101

Основні технічні характеристики верстату наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. – Основні технічні характеристики верстату 1М63БФ101

Параметр	Значення
Клас точності	Н
Найбільший діаметр деталі оброблюваної над станиною, мм	630
Найбільший діаметр деталі оброблюваної над супортом, мм	350
Найбільша довжина оброблюваної деталі, мм	3000
Межі частот обертання шпинделя min/max, об/хв	10-1250
Потужність, кВт	15
Габаритні розміри, мм	4950_1780_1550

Таблиця 2.2. – Хімічний склад досліджуваної сталі

Марка сталі	Хімічний склад, %							
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Fe
40X13	0,35- 0,44	до 0,6	до 0,6	до 0,6	до 0,025	До 0,03	12-14	84

В якості об'єкту дослідження дана сталь була вибрана тому що серед нержавіючих і жаростійких сталей дана сталь має в машинобудуванні найбільший об'єм обробки різанням. Крім того, сталь 40X13 володіє основними ознаками, властивими важкооброблюваним матеріалам: високою стійкістю, жароміцними властивостями, низькою теплопровідністю зростаючої з підвищенням температури. Незважаючи на великий обсяг фактичних даних по різанню цієї сталі, контактні процеси при її обробці вивчені недостатньо.

В якості інструменту було використано різець із групи ТК- Т15К6.

Досліджуваним критерієм зношування було прийнято максимальну висоту поверхні зношування різця по задній поверхні $h_{\text{зmax}}$, мм, величина якого вимірювалась після кожних 3 хв обробки. Точіння проводилось при $V=105$ м/хв., $V=150$ м/хв., $V=170$ м/хв. Зношення вимірювалось за допомогою спеціального інструментального мікроскопа(рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Інструментальний мікроскоп

Висновки по розділу:

Отже, в даному розділі було розглянуто методику розробки математичної моделі розмірного зносу леза інструменту від часу різання, методику розробки математичної моделі періоду стійкості і ресурсу роботи

лезового інструменту, методику залежності стійкості різця від швидкості різання.

Було обрано:

Схему різання – зовнішнє точіння заготовки;

Геометричні параметри різального інструменту – $\gamma=0^\circ$, $\alpha=\alpha_1=10^\circ$, $\varphi=45^\circ$, $\varphi_1=45^\circ$, $\lambda=0^\circ$, $r=0,2-0,3$ мм.;

Верстат на якому проводились дослід - 1М63БФ101;

В якості інструменту використовували різець із групи ТК – Т15К6;

Досліджуваний критерій зносу – h_z (знос по задній поверхні).

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Аналіз результатів дослідження

Дослідження проводились на базі заводу, який займається важким машинобудуванням АТ «ПКМЗ». Провівши експерименти було отримано результати зношування різців в залежності від швидкості різання. Дані результати наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Результати зношування різців в залежності від швидкості різання

V=105 м/хв.											
T, хв	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
h _з , мм	0,0	0,0	0,05	0,05	0,075	0,075	0,075	0,1	0,15	0,15	0,15
V=155 м/хв.											
T, хв	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
h _з , мм	0,0	0,0	0,05	0,05	0,1	0,1	0,11	0,15	0,15	0,15	0,2
V=170 м/хв.											
T, хв	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
h _з , мм	0,0	0,05	0,1	0,1	0,1	0,15	0,15	0,2	0,2	0,2	0,25

Проаналізувавши отримані дані ми можемо сказати, що швидкість різання значно впливає на інтенсивність зношування різальних інструментів. Зі збільшенням швидкості різання збільшується інтенсивність зношування різця. Аналізуючи дані видно, що при швидкості різання V=105 м/хв. після 33 хв. обробки h_з=0,15 мм, а вже при швидкості V=155 м/хв. після того ж часу обробки дане значення зношення задньої поверхні інструменту складає

$h_3=0,2$ мм, а при швидкості $V=170$ м/хв. після 33 хв. обробки зношення поверхні збільшується до $h_3=0,25$ мм.



Рисунок 3.1 Встановлення заготовки на верстаті



Рисунок 3.2 – Точіння заготовки

Використовуючи дані таблиці 3.1 та формули (31)-(33) побудуємо графічні залежності стійкості інструменту T та шляху різання L від швидкості різання V для отриманих значень критеріїв зношування різального інструменту.

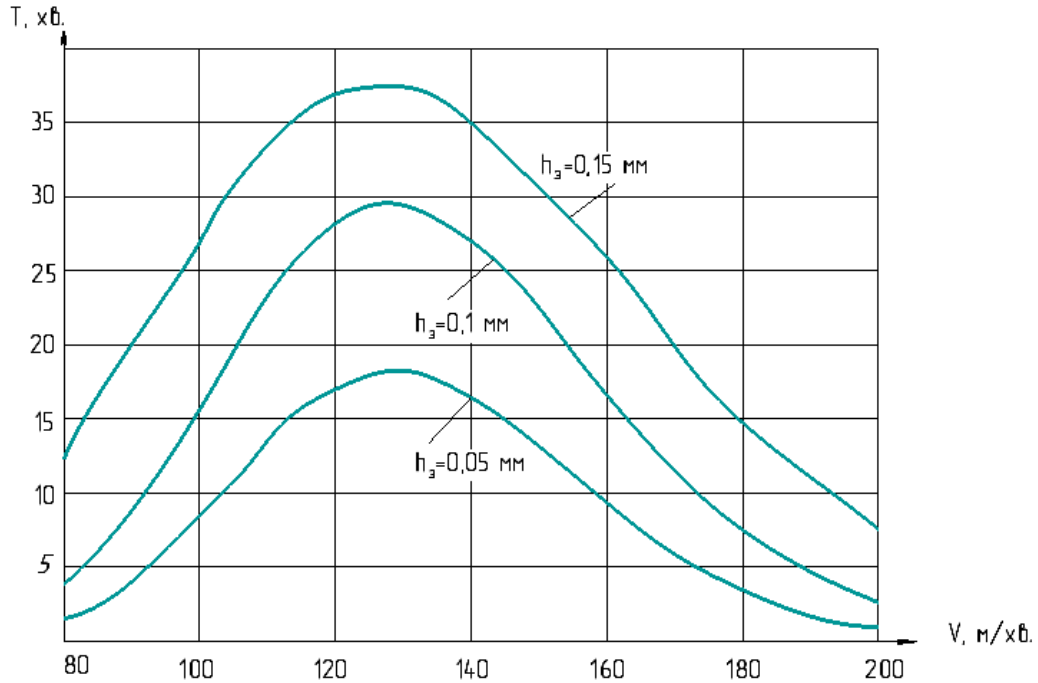


Рисунок 3.3 – Залежність шляху різання L від швидкості різання V при різних критеріях зношування різця h_3

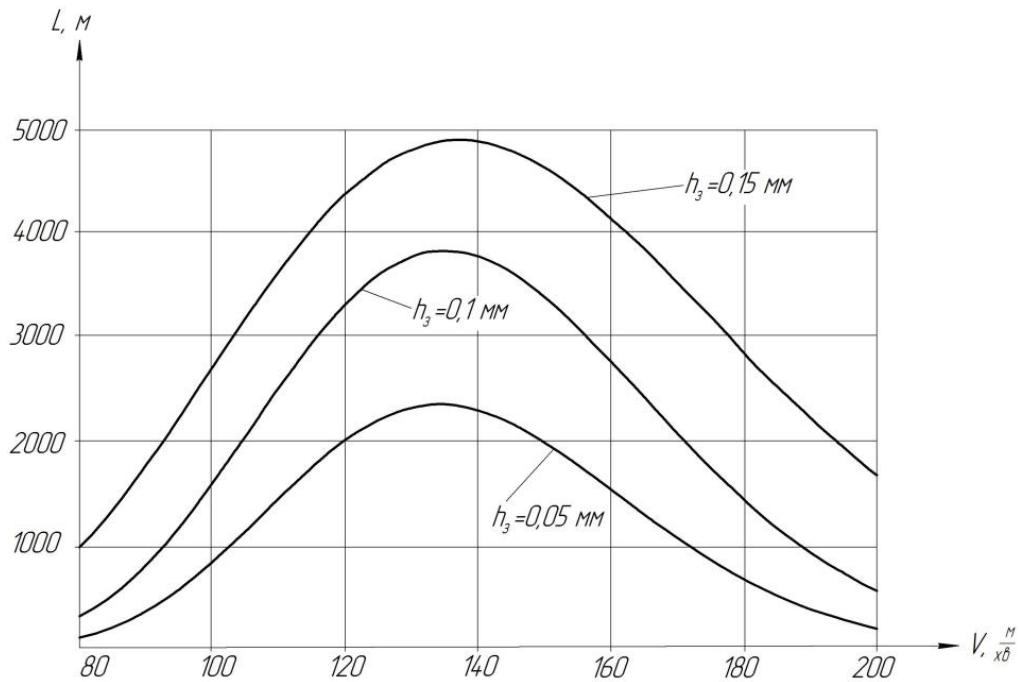


Рисунок 3.4 – Залежність шляху різання L від швидкості різання V при різних критеріях зношування різця h_3

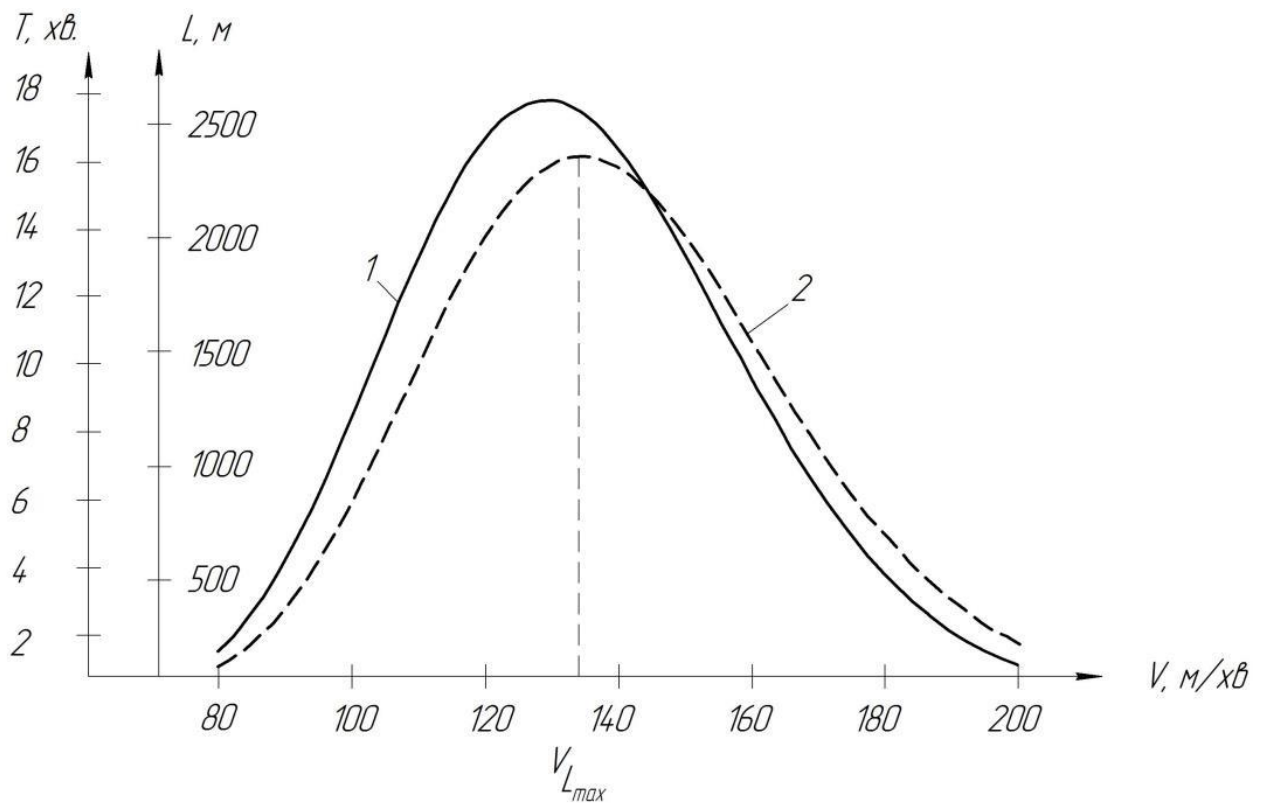


Рисунок 3.5 – Графіки залежностей стійкості T , хв, (1) та шляху L , м, (2) від швидкості різання V , м/хв

Загальний ресурс роботи різального інструменту значно залежить від періоду стійкості різців та вибраного нами критерію зносу. Для того, щоб інструмент мав найдовший загальний ресурс роботи треба визначити оптимальний критерій зносу. Для його визначення необхідно знайти ряд точок залежності висоти поверхні зносу від часу роботи різця. Так як нас цікавить не час роботи різального інструменту, а його шлях різання, то графік зносу побудуємо в координатах $h_z - L$. Для того, щоб побудувати дану криву оброблення заготовки здійснювалось на швидкості, яка забезпечує найбільший шлях різання. Крива зносу $h_z = f(L)$ показана на рисунку 3.6, з даного рисунка можна сказати, що до висоти поверхні зносу $h_z = 0,175$ мм протікає нормальне зношування, в результаті якого зростання критерію зносу h_z майже прямо пропорційне пройденому шляху різання L . При дальнішому збільшенні шляху різання ми спостерігаємо прискорення зношування, про що свідчить більш швидкий підйом графіка вгору, тобто починається так зване катастрофічне зношення різального інструменту.

Знайдемо критерій $h_{3\text{опт}}$ оптимального зносу різця під час якого загальний ресурс роботи буде найбільший (рисунк 3.7). Проте цей ресурс знайдено не за часом роботи різального інструменту, а за шляхом різання впродовж всього терміну його працездатності.

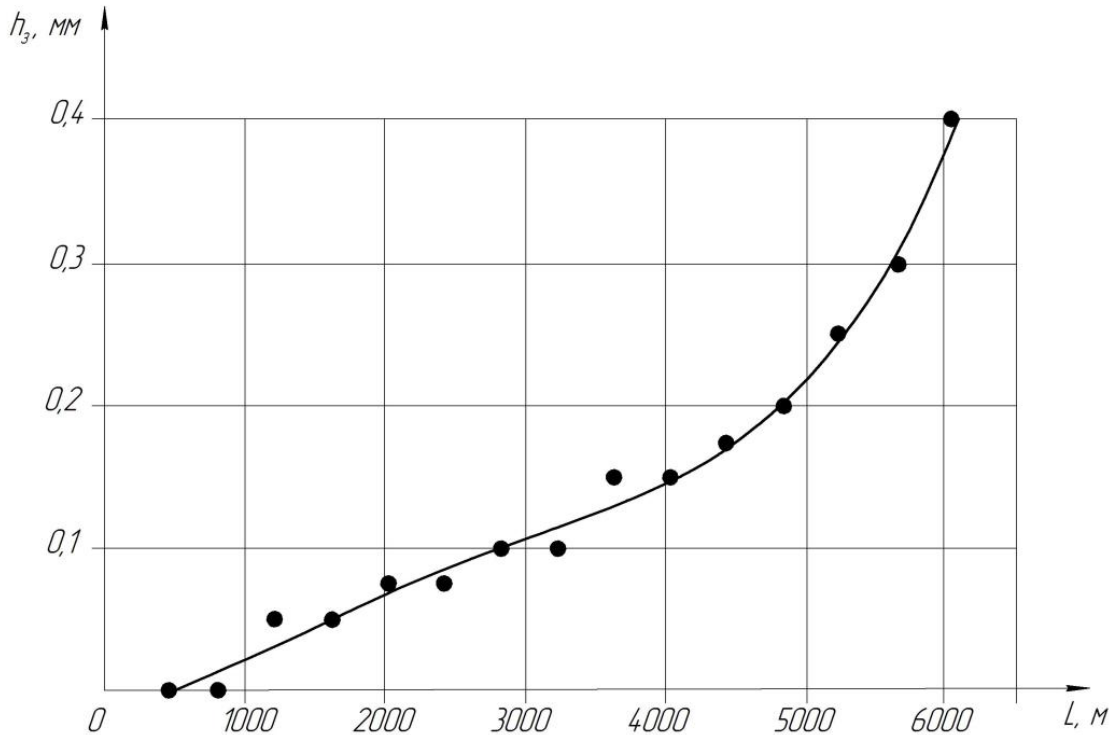


Рисунок 3.6 – Зношування різця при оптимальній швидкості різання

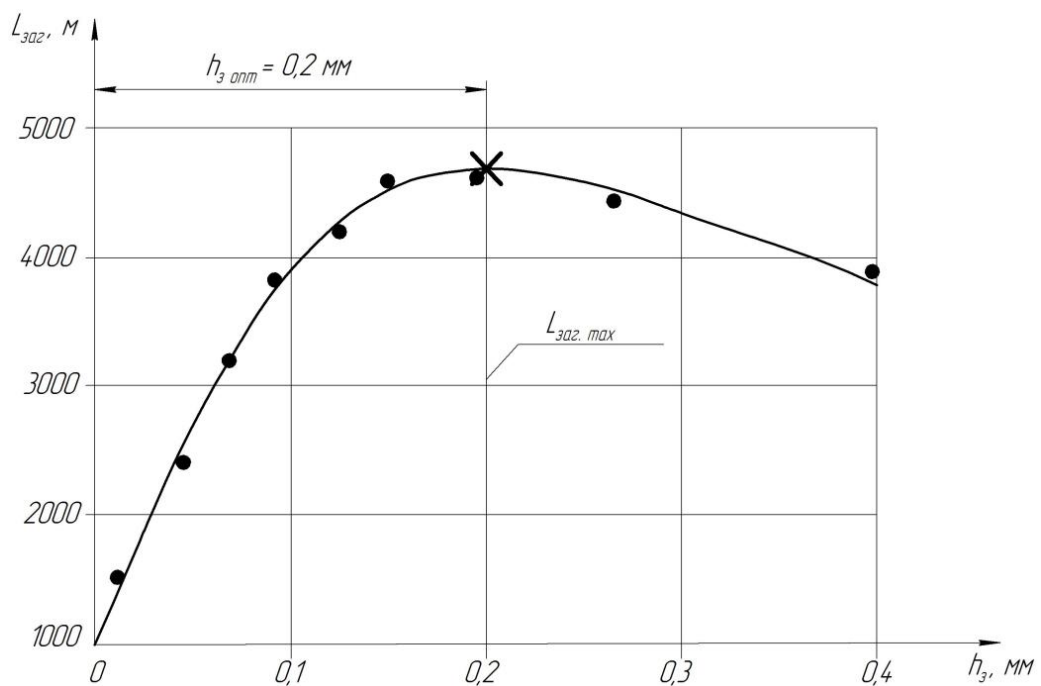


Рисунок 3.7 –Залежність шляху різання від величини переточування різця

3.2 Побудова математичної моделі з експериментальних даних за допомогою ПЗ ПРІАМ

В даному пункті ми перевіримо адекватність отриманих експериментальних даних, а також знайдемо рівняння за якими можна спрогнозувати подальшу динаміку зношування інструменту при певному часі оброблення.

Таблиця 3.2. – Експериментальні дані

X1	X2	Y
105	3	0
105	6	0
105	9	0,05
105	12	0,05
105	15	0,075
105	18	0,075
105	21	0,075
105	24	0,1
105	27	0,15
105	30	0,15
105	33	0,15
155	3	0
155	6	0
155	9	0,05
155	12	0,05
155	15	0,1
155	18	0,1
155	21	0,11
155	24	0,15
155	27	0,15
155	30	0,15
155	33	0,2
170	3	0
170	6	0,05
170	9	0,1
170	12	0,1
170	15	0,1
170	18	0,15
170	21	0,15
170	24	0,2
170	27	0,2

170	30	0,2
170	33	0,25

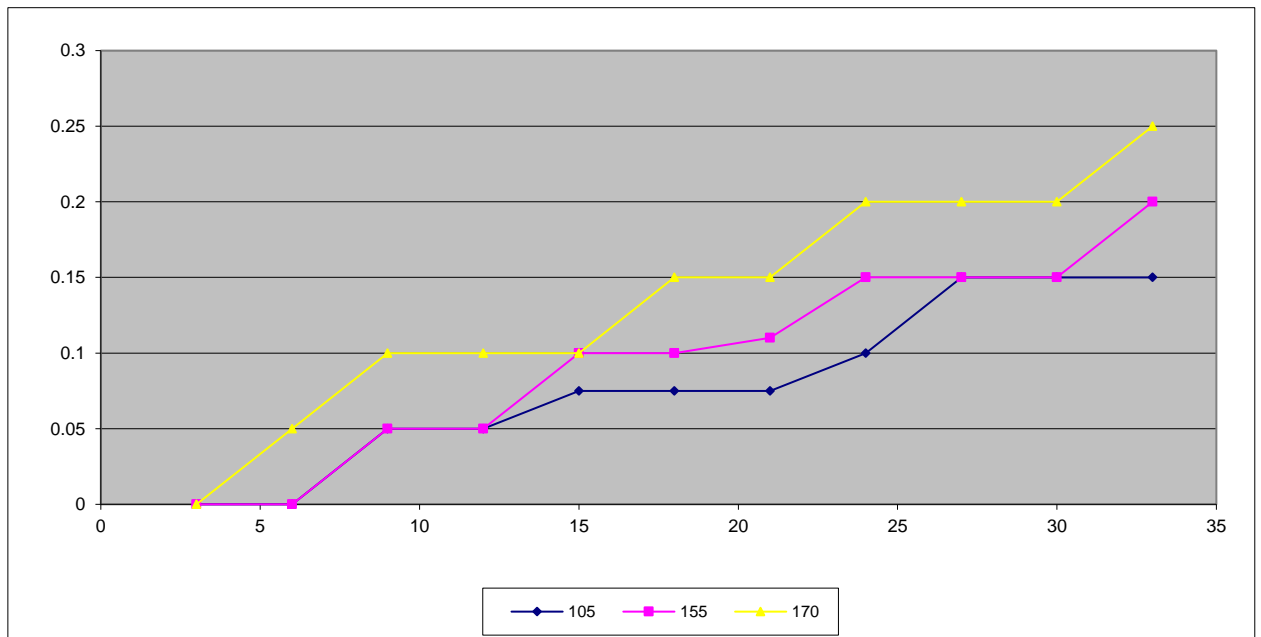


Рисунок 3.8 – Графік залежності зносу інструменту від часу обробки

Таблиця 3.3. – Список ефектів кандидатів

Ім'я/номер коефіцієнта	Коефіцієнт кореляції	Ім'я/номер коефіцієнта	Коефіцієнт кореляції
1 – x_1	0,308179	2 – z_1	0,181708
3 – x_2	0,900561	4 – z_2	0,0535704
5 – u_2	0,0486059	6 – $x_1 \cdot x_2$	0,111475
7 – $x_1 \cdot z_2$	0,0345391	8 – $x_1 \cdot u_2$	0,0274525
9 – $z_1 \cdot x_2$	0,0271937	10 – $z_1 \cdot u_2$	0,0209867

Мета: апроксимація

Параметри, що впливають на формування структури моделі:

Спосіб формування структури моделі – Програмний

Алгоритм визначення списку кандидатів – На основі головних ефектів

Управління якістю моделі:

Адекватність – Так; Інформативність – Ні

Значимість коеф – Ні; Частка Участі – Так

Обмеження max коеф. кореляції між ефектами – 0.4

Обмеження min коеф. кореляції ефектів з відгуком – 0.01

Обмеження мінімальної частки розсіювання – 0.005

Отримано модель:

$$Y=0.104091+0.0948485x_2+0.0283175x_1 + 0.0163457z_1 + 0.0161958x_1x_2$$

де:

$$x_1 = 0.026087 \cdot (X_1 - 143.333);$$

$$z_1 = 3.22292 \cdot ((x_1 \wedge 2) + 0.402878 \cdot x_1 - 0.52552);$$

АНАЛІЗ АДЕКВАТНОСТІ МОДЕЛІ

Залишкова дисперсія	0.000253998
Дисперсія відтворюваності	4.33397e-006
Розрахункове значення F-критерію	18.0147
Рівень значущості F-критерію для адекватності	0.05
для ступенів свободи	$v_1 = 4 \quad v_2 = 28$
Табличне значення F-критерію для адекватності	2.71408
Табличне значення F-критерію (При відсутності повторних дослідів)	1.21426
Стандартна помилка оцінки	0.0159373
(Скорект. з урахуванням ступенів свободи)	0.0167414

модель адекватна

Примітка:

Дисперсія відтворюваності обчислена із заданого відхилення

АНАЛІЗ ІНФОРМАТИВНОСТІ МОДЕЛІ

Основні характеристики

Частка розсіювання пояснюється моделлю	0.951429
Введено регресорів (ефектів)	5
Коефіцієнт множинної кореляції	0.975412
(Скорект. з урахуванням ступенів свободи)	0.972833
F відношення для R	137.118
Рівень значущості F-критерію для інформативності	0.05
для ступенів свободи	$v_1 = 4 \quad v_2 = 28$
Табличне значення F-критерію для інформативності	2.71408

модель інформативна

Критерій Боксу і Веца для інформативності

6

Інформативність моделі **ДУЖЕ ВИСОКА**

Таблиця 3.4. Таблиця статистичних характеристик

Ім'я/номер коефіцієнту	Коефіцієнт регресії	Стандарт. помилка коэф. регр.	Визнач. t знач.	Доля участі
X_2	0.0948485	0.0277433	21.6223	0.81101
X_1	0.0283175	0.0277433	7.39931	0.0949741
Z_1	0.0163457	0.0277433	4.36277	0.0330177
X_1X_2	0.0161958	0.0277433	2.6765	0.0124268

вільний член 0.104091

Таблиця 3.5. Таблиця мультиколінеарності

Ім'я/номер коефіцієнту	MAX коеф. кореляції	З яким регресором	Коеф. кореляції з відгуком
X_2	0	Зі всіма	0,900561
X_1	0	Зі всіма	0,308179
Z_1	0	Зі всіма	0,181708
X_1X_2	0	Зі всіма	0,111475

Число обумовленості $COND = 1$

Середня абсолютна похибка апроксимації – 0.012061

Середня похибка апроксимації у відсотках – 24.8357

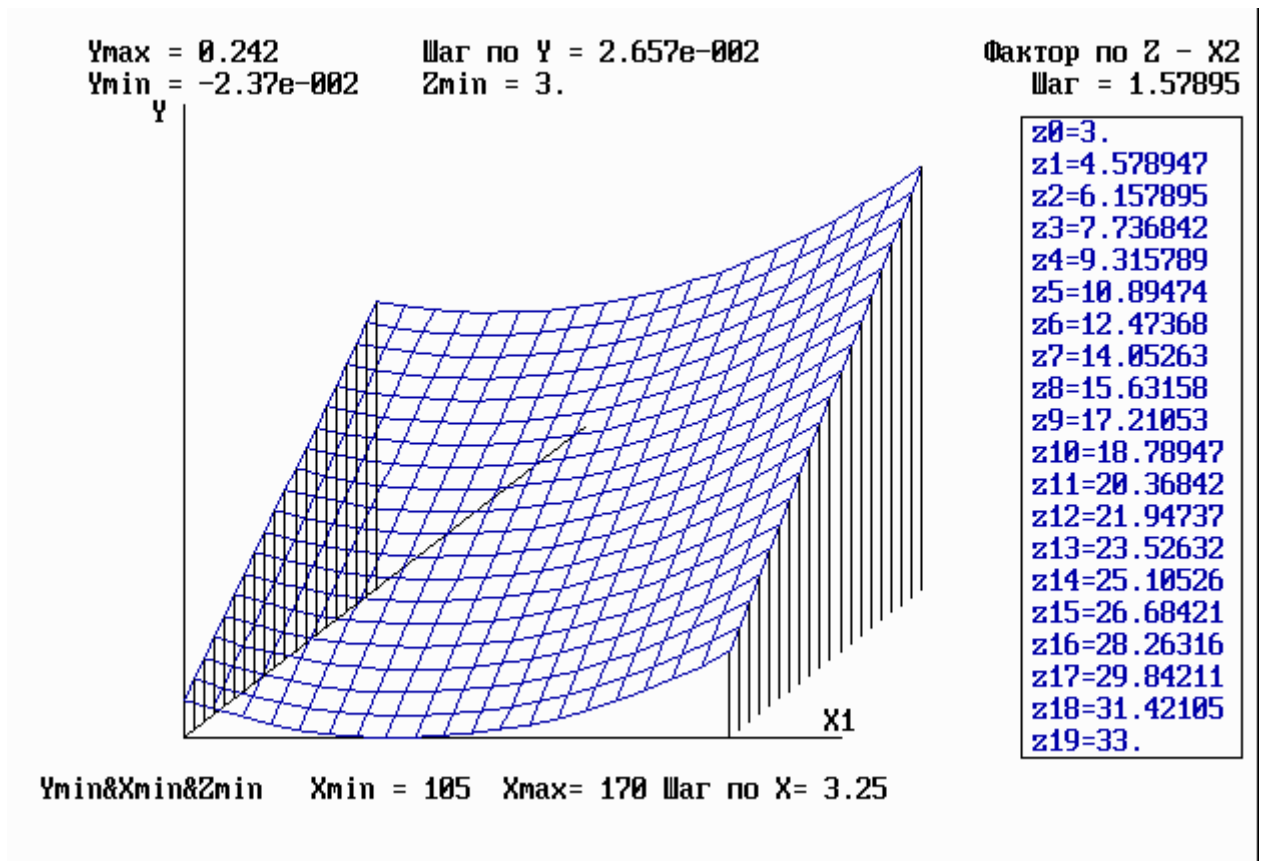


Рисунок 3.9 – Маргінальна поверхню відгуку

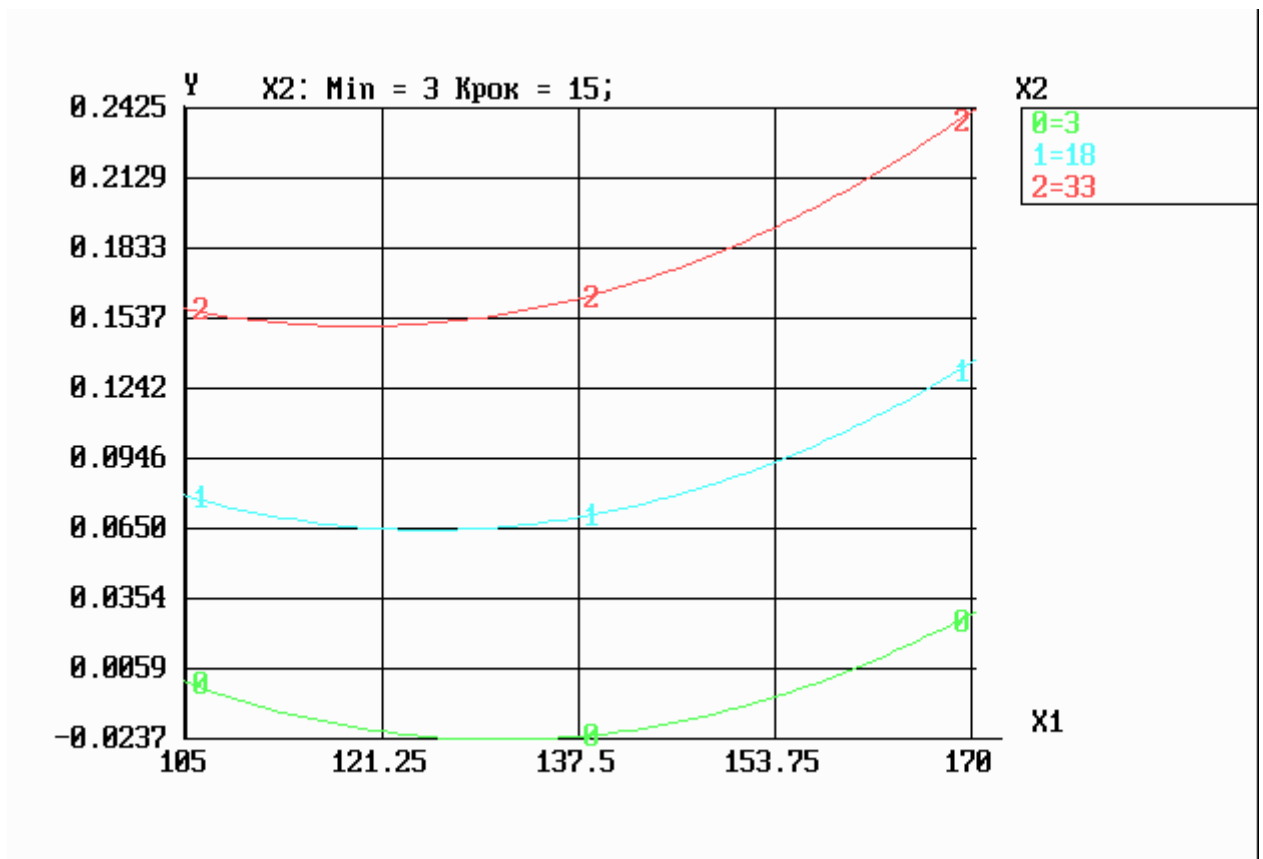


Рисунок 3.10 – Залежність зносу інструмента від швидкості різання при часі обробки $T=3$ хв., $T=18$ хв., $T=33$ хв.

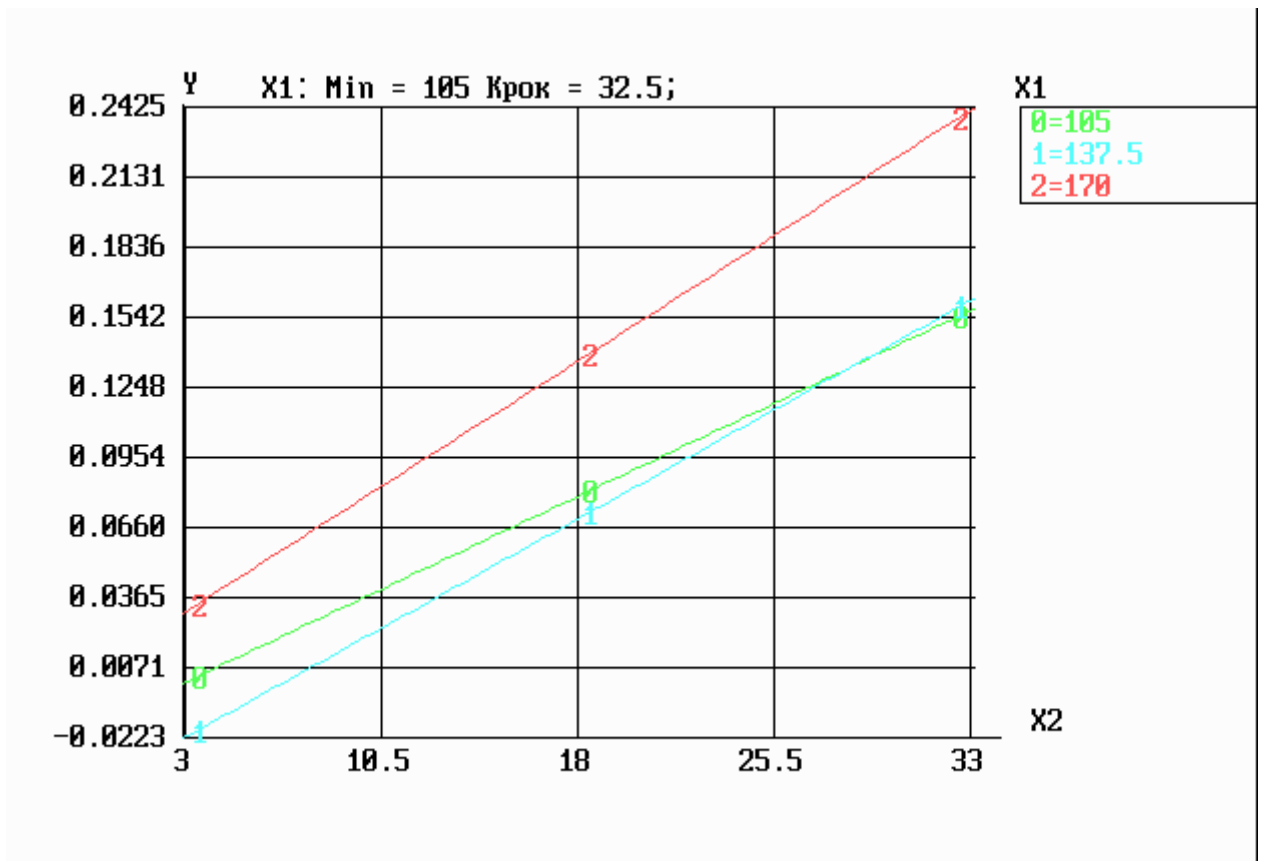


Рисунок 3.11 – Залежність зносу інструмента від часу обробки при $V=105$ м/хв., $V=137,5$ м/хв., $V=170$ м/хв.

Висновки до розділу:

Отже, щоб досягти найбільшої ефективності точіння заготовок з сталі 40X13 різцями типу T15K6, а саме обробити максимальну кількість деталей, щоб при даній обробці витрати різців були мінімальними потрібно проводити точіння на оптимальній швидкості різання $V_{Lmax}=135$ м/хв. та часу обробки $T=30$ хв.

Побудована двохфакторна математична модель описує технологічний процес обробки корозійностійкої жаростійкої сталі 40X13 при обробці різцями T15K6. Модель адекватна, інформативна, стійка.

Отримана математична модель дозволяє отримати оптимальні значення режиму різання при обробці жаростійкої сталі.

4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту

Зміст ідеї: створення інноваційної організації, яка буде займатись розрахунком оптимальних параметрів режимів обробки деталей при точінні жаростійких сталей.

Переваги для покупців: підвищення продуктивності процесу, підвищення параметрів мікроекономіки підприємства, поліпшення якості продукції без необхідності повного залучення штатних працівників та здійснення інноваційної діяльності.

Далі ми аналізуємо потенційні технічні та економічні переваги ідеї порівняно з пропозиціями конкурентів:

- визначимо перелік техніко-економічних характеристик та характеристик ідеї;

- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або продуктів-замінників чи продуктів аналогів, що вже присутні на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів у відповідності до вказаного вище переліку;

- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 4.1) [39].

Таблиця 4.1 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/ п	Техніко економічні характерис тики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабк а сторо на)	N (нейтрал ьна сторона)	S (силь на сторо на)
		Мій проект	Sand wik	Промви тех	Алько нт			
1.	Торгівельн	немає	є	є	є	+		

	а марка							
2.	Точність проведення розрахунків	Висок а	Висок а	Середня	Серед ня			+
3.	Патенти на продукти	немає	є	є	є	+		
4.	Економічність	Серед ня ціна	Висок а ціна	Висока ціна	Висок а ціна			+

Отже, провівши дані порівняння ми бачимо, що за рахунок точності проведення розрахунків та низької собівартості мій проект має певну перевагу над продуктами аналогами в певних компонентах та є нейтральним у інших.

4.2 Проведення аналізу ринкових можливостей проекту

В даному розділі визначимо ринкові можливості, які можуть бути використані під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть слугувати як перешкоди його реалізації.

Це робить можливість зробити план напрямків розвитку проекту, враховуючи стан ринкового середовища, потреб можливих потенційних клієнтів, а також пропозицій конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл.. 4.2) [39].

Таблиця 4.2. Характеристика потенційного ринку

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	6
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	100000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Конкуренція вітчизняних та зарубіжних фірм
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	35,2%

Оцінка потенційного ринку стартап-проекту показала, що умови для входу на ринок є сприятливими, але на ринку наявні конкурентоздатні фірми, які вже давно на ньому перебувають та успішно реалізують свою продукцію, але за рахунок переваг над ними наш продукт буде конкурентоспроможним.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл.. 4.3) [39].

Таблиця 4.3. Характеристика потенційних клієнтів даного проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія(цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Повна автоматизація процесу обробки деталей	Приладобудівні, машинобудівні, авіа та ракетобудівні підприємства	Обсяги виробництва	Висока точність, невисока ціна

Під час використання даної технології існують певні загрози. Для попередження таких ситуацій потрібно якісне обладнання, а також виконувати дані роботи повинні висококваліфіковані фахівці. Також,

повинно бути своєчасне технічне обслуговування даного продукту (табл.. 4.4.) [39].

Таблиця 4.4 Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Необхідність даної області спричиняє появу багатьох фірм у цій області	Наявність переваг перед конкурентами, на які буде звертати увагу покупець
2	Відсутність попиту на продукцію	Не бажання споживачів переходити на нову технологію через те, що вона є дорогою	Реклама з наведенням аргументів на користь своєї продукції. Аргументація даної роботи як засобу збільшення серійності виробництва та зменшення кількості браку, що призведе до збільшення доходу підприємства
3	Інфляція	Зміна курсу гривні, за рахунок чого можуть зменшитись продажі	Реалізація продукту в більш стабільній(іноземній) валюті та моніторинг економічної ситуації в країні
4	Старіння	Високі темпи модернізації продукції	Моніторинг трендів, постійне доопрацювання до вимог клієнтів

5	Кадри	Необхідні висококваліфіковані кадри	Навчання та екзаменування кадрів
---	-------	---	-------------------------------------

В таблиці 4.5. ми визначили фактори можливостей які сприяють ринковому впровадженню нашого проекту, та вигоди які компанія може отримати відповідно від реакції на той чи інший фактор.

Таблиця 4.5 Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Попит на якісний та точний продукт	Потреба покращення якості продукції, зменшення браку	По можливості постійна модернізація продукту, розробка нових ідей
2	Створення нової роздрібної мережі в Україні та Європі	Розширити можливості збуту своїх послуг	Зробити акцент на точності, якості та відносній недорогоговизні продукту
3	Економічні	Політика протекціонізму, підтримка інноваційного виробництва	Підвищення/пониження ціни на продукт, зменшення додаткового тиску
4	Науково-технічні	Зміниться технологія виготовлення товару	Впровадити технологію і змінити вартість товару
5	Можливість стати монополістом	За рахунок переваг над конкурентами є можливість захопити ринок даної продукції	Постійний розвиток та робота над вдосконаленням проекту

Отже, зробивши аналіз ринку можемо сказати, що серед усіх наявних загроз найбільшою є дуже висока конкуренція, щоб надавати свої послуги.

Надалі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (табл.. 4.6) [39].

Таблиця 4.6. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства(можливі дії компанії, щоб бути конкурентно спроможною)
Олігополія	В галузі домінує декілька конкуруючих фірм	Виготовлення конкурентно спроможного товару
Національний	Конкуренція фірм на міжнародному рівні	Реклама, проведення роботи щодо організації збуту на іншому ринку
Внутрішньогалузева	Виробники виготовляють продукти, які задовольняють одну потребу	Виготовлення товару схожого по ряду характеристик, та кращого за декількома
Товарно-видова	Конкуренція між товарами одного виду та призначення	Розробка вдосконалених товарів
Цінова	Використання ціни як кращих умов збуту	Підвищення якості продукту
Марочна	Вказує, яке підприємство відповідальне за	Створення власної марки

	готовий продукт	
--	-----------------	--

В даній таблиці ми провели аналіз ринку збуту нашого продукту і визначили загальні риси конкуренції на ньому.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Поки проект не впроваджено в життя, це важко зробити точно, можна дати лише попередню оцінку конкурентоспроможності (табл.. 4.7) [39].

Таблиця 4.7. Обґрунтування факторів конкурентоздатності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Якість	Отримання достовірних результатів
2	Точність	Точність дослідження зношування вища ніж у конкурентів
3	Своєчасність реакції	Своєчасна реакція на виявлення зношення і коректування режимів різання згідно цієї інформації
4	Ціновий	Нижча ціна порівняно з конкурентами

В умовах високої конкуренції на ринку, основними є фактори якості, точності та ціни, які повинні бути на рівні, або ж рівнем вище, ніж у конкурентів, що зумовить успішний вихід на ринок та підвищить його конкурентоздатність.

Завершальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл.. 4.8) [39].

Таблиця 4.8 SWOT-аналіз проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - вища точність виявлення зношення; - ціна нижча, ніж у конкурентів; - оперативне реагування на зношення інструменту; - новизна технології; 	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - великий асортимент товарів на ринку; - продукт який ще не зарекомендував себе на ринку; - немає торгової марки.
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> - попит на якісний та точний продукт; - можливість створення роздрібною мережі в Україні та Європі; - можливість стати монополістом; - зміна технологій; - підтримка інновації. 	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> - конкуренція; - неготовність прийняти дану систему, через вже наявні звички; - інфляція; - старіння продукції з часом; - немає кадрів

На основі проведення SWOT-аналізу виявлено, що за рахунок сильних сторін продукт буде конкурентоспроможним на ринку.

4.3 Розробка ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим етапом передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл.. 4.9) [39].

Таблиця 4.9. Групи потенційних споживачів

<i>№ n/n</i>	<i>Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів</i>	<i>Готовність споживачів сприйняти продукт</i>	<i>Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)</i>	<i>Інтенсивність конкуренції в сегменті</i>	<i>Простота входу у сегмент</i>
1	Державні підприємства	Готові	Середній попит	Висока	Середня
2	Приватні підприємства	Готові	Високий попит	Висока	Складна
3	НДІ	Готові	Низький попит	Низька	Просто
Які цільові групи обрано: Державні та приватні підприємства. Хоч конкуренція в цих сегментах висока та вхід до цих сегментів складний, все ж прибуток та кількість замовлень у даних сегментах планується набагато вищою ніж в сегменті НДІ. Використовується стратегія диференційованого маркетингу.					

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку (табл.. 4.10.) [39].

Таблиця 4.10. Визначення базової стратегії розвитку

<i>№ n/n</i>	<i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку*</i>
1	Стратегія спеціалізації	Стратегія ексклюзивного розподілу, налагодження зв'язку з клієнтом	Висока якість, краща точність діагностики, малий час на реагування, нижча ціна	Стратегія диференціації

Таким чином, базовою є стратегія диференціації, тобто зорієнтованості на користувача та задоволенні його потреб шляхом покращення характеристик товару в порівнянні з конкурентами, альтернативою є стратегія спеціалізації, тобто у разі провалу стратегії диференціації за основу буде прийнятий один цільовий сегмент та його потреби.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл.. 4.11) [39].

Таблиця 4.11. Визначення стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Проект не є «першопрохідцем»	Компанія буде забирати існуючих у конкурентів	Деякі характеристики будуть скопійовані, але не найважливіші	Стратегія заняття конкурентної ніші

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проекти (табл.. 4.12.) [39].

Таблиця 4.12. Вибір стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні і позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Висока якість, точність, низька ціна, швидке реагування на зношення	Стратегія диференціа ції	Краща точність, швидке реагування на зношення, нижча ціна	Швидке реагування Точність Менша ціна в порівнянні з конкурентами

4.5 Розробка маркетингової програми

Таблиця 4.13. Визначення основних переваг потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Висока якість	Висока якість	Якість розрахунків знаходиться на високому рівні
2	Висока точність	Краща точність	Точність більша ніж у конкурентів

3	Реагування на знос	Оперативне реагування	Миттєве реагування на зношення і корекція режимів
4	Невисока ціна	Невисока ціна	Найнища ціна порівняно з конкурентами

Таблиця 4.14. Концепція маркетингових комунікацій

<i>№ п/п</i>	<i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти</i>	<i>Ключові позиції, обрані для позиціонування</i>	<i>Завдання рекламного повідомлення</i>	<i>Концепція рекламного звернення</i>
1	Перегляд інформаційних ресурсів із потрібним якісним товаром за доступною ціною, за доступною ціною і гарною якістю	Інтернет ресурси, каталоги інструментів, виставки, рекламні статті, презентації виробників	Послідовність у реалізації обраної позиції. Доступність та об'єктивність інформації про фірму та товар. Планомірність і послідовність при прийнятті рішень.	Інформаційне завдання про новий товар, та формування знань про марку та виробника	Найвища точність та своєчасно зміна режимів різання при зношенні інструменту

Висновки до розділу:

Отже, розглянутий стартап-проект має як свої переваги так і недоліки. Для того щоб ввести проект на ринок було визначено, що даний проект має багато напрямків використання. Також він надасть значні вигоди для покупця, а саме: збільшення працездатності різців за рахунок того, що будуть підібрані оптимальні режими обробки; не дорога вартість надання послуг в порівнянні з конкурентами. Також нами було проведено порівняння нашого проекту з конкурентними і визначено його переваги і недоліки в даному аспекті. Переваг як ми бачимо є більше, тому можна говорити, що даний проект є конкурентоспроможний, а ідея його втілення актуальною.

Було проведено аналіз ринку, визначено його потреби і напрями за якими буде слідувати наша компанія, щоб реалізувати продукцію. Ми визначили, що основний напрям ми зробимо на машинобудівні, приладобудівні та авіобудівні підприємства. За рахунок того, що наш продукт володіє високою точністю, якістю, невисокою ціною будуть виконані потреби споживачів, тому ми маємо можливість успішно вийти на ринок.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Отже, під час роботи над магістерською дисертацією було проведено літературний огляд, аналіз поточного стану проблеми зношування різального інструменту при точінні жаростійких сталей. Ми бачимо, що дана тема є дуже актуальною, оскільки обробка даних матеріалів характеризується швидким зносом інструменту, що в свою чергу веде до погіршення якості обробки деталей і збільшення витрат на виготовлення деталей. При різанні жаростійких сталей в широкому діапазоні швидкостей одночасно діють адгезійно-втомний і дифузний механізми зносу задньої грані. Причиною збереження суттєвої адгезійно-втомної складової зносу при взаємодії з пластичним контактом на майданчику задньої грані є нестійкість процесу стружкоутворення.

Було проведено аналіз методики розробки математичних моделей зносу різального інструменту. Проведено експеримент, який заключався в дослідженні зносу задньої площадки h_z різального інструменту при точінні жаростійкої сталі. По експериментальних даних було побудовано математичну модель в ПЗ ПРИАМ, ми бачимо що дана модель адекватна, інформаційна, стійка. Отримана математична модель дозволяє отримати оптимальні значення режиму різання при обробці жаростійкої сталі.

Розроблено стартап-проект визначено ринкові стратегії проекту. Ми бачимо, що даний проект має свої переваги і недоліки. Проте порівнявши наш проект з конкурентними, видно що проект володіє високою якістю, точністю і є не дорогим, що дає гарні можливості його реалізації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Обработка резанием жаропрочных сталей, сплавов и тугоплавких металлов [Текст] / А. М. Даниелян, П. И. Бобрик, Я. Л. Гуревич и др. – М.: Машиностроение, 1965. – 308 с.
2. Белоусов, А. Л. Улучшение обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов путем выбора рациональной марки інструментального материала на основе критерия циклической прочности [Текст]. – В кн.: Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов / А. Л. Белоусов. – Куйбышев, 1976. – с. 62–67.
3. Подураев, В. Н. Резание труднообрабатываемых материалов [Текст] : Учеб. пособие для вузов / В. Н. Подураев. – М.: Высшая школа, 1974. – 592 с.
4. Производительная обработка резанием нержавеющей и жаропрочных материалов [Текст] / Н. И. Резников, И. Г. Жарков, В. М. Зайцев и др. – М.: Машгиз, 1960. – 214 с.
5. Развитие науки о резании металлов [Текст] / В. Ф. Бобров, Г. И. Грановский, Н. Н. Зорев и др. – М.: Машиностроение, 1967. – 416 с.
6. Шифрин, А. Ш. Обработка резанием коррозионностойких, жаропрочных и титановых сталей и сплавов [Текст] / А. Ш. Шифрин, Л. М. Резницкий. – М.: Машиностроение, 1964. – 448 с.
7. Антонов, А. И. О связи физико-механических свойств металлов с их обрабатываемостью [Текст]. – В кн.: Обработка резанием труднообрабатываемых материалов. Часть 1 / А. И. Антонов. – Л.: ЛДНТП, 1970. – с. 3–10.
8. Шифрин, А. Ш. К вопросу о физической природе низкой обрабатываемости труднообрабатываемых металлов [Текст] / А. Ш. Шифрин. – В кн.: Современные достижения в области обработки труднообрабатываемых материалов. – Л.: ЛДНТП, 1979. – с. 4–9.
9. Доронин, В. П. К вопросу о стойкости твердосплавных режущих инструментов при обработке жаропрочных сталей и сплавов [Текст] / В. П.

Доронин. – Перспективы развития резания конструкционных материалов : сбор. тез. докл. конф. (г. Ворошиловград, 9-11 сентября 1980 г.). – М., 1980. – с. 243–250.

10. Лоладзе, Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента [Текст] / Т. Н. Лоладзе. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.

11. Талантов, Н. В. Работоспособность твердосплавного инструмента с тугоплавкими покрытиями [Текст] / Н. В. Талантов, Ю. М. Быков. – В кн.: Физические процессы при резании металлов. – Волгоград, 1984. – с. 37–46.

12. Талантов, Н. В. Физические основы процесса резания [Текст] / Н. В. Талантов. – В кн.: Физические процессы при резании металлов. – Волгоград, 1964. – с. 3–37.

13. Lipatov, A. A. Determining the cutting forces at there artoolsurface / A. A. Lipatov, Y. L. Chigirinskii, S. I. Kormilitsyn // Russian Engineering Research. – 2010. – Vol. 30, № 11. – P. 1158–1160

14. П. Г. Малюха – Теорія різання (конспект лекцій) – Донецьк, 2011. -233с.

15. Куксенова Л.И. Методы испытания на трения и износ / Л.И.Куксенова, В.Г. Лаптева, А.Г. Колмаков. - М.: Интернет Инжиниринг, 2001. – 152 с.

16. Козочкин М. П. Способ определения износа режущего инструмента (RU 2478929) / Козочкин М. П., Григорьев С. Н., Порватов А. Н. – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский Государственный Технологический Университет "СТАНКИН".

17. Плотников А. Л., Крылов Е. Г. Способ контроля состояния режущих кромок сборных многолезвийных инструментов. [Патент RU 2440031]. - Волгоградский государственный технический университет. – 2006.

18. Сарилов М.Ю., Максимов А.Ю. Контрольно-измерительный комплекс для контроля износа режущего инструмента. [Патент RU 2246072]. – Комсомольский–на–Амуре государственный технический университет. – 2001.
19. Мартинов Г. Н., Синопальников В. А., Григорьев А. С. Устройство контроля износа и прогнозирования остаточной стойкости режущего инструмента для системы ЧПУ станка. [Патент RU 220574].. – Московский Государственный Технологический Университет. – 2009.
20. Зайцев С.А. Контрольно-измерительные приборы и инструменты: Учебник / С.А. Зайцев, Д. Д. Грибанов, А. Н. Толстой, Р. В. Меркулов. – М.: Издательский центр —Академия, 2003. – 464 с.
21. Диагностика автоматизированного производства / С.Н. Григорьев [и др.]; Под ред. С.Н. Григорьева. М.: Машиностроение, 2011. 600 с.
22. Макаров В.Ф., Шохрин А.В., Потягайло О.Н. Исследование влияния режима резания и износа режущего инструмента на изменение физических параметров процесса резания на станках с ЧПУ // СТН. 2010. №9. С.30 – 32.
23. Sharma V. S., Sharma S. K., Sharma A. K. Cutting tool wear estimation for turning // Journal of Intelligent Manufacturing. 2007. Vol. 19. P. 99-108.
24. Сорокин В.В., Дараган А.Ф. Контроль состояния режущего инструмента в станочных системах // Наука и современность. 2010. № 5-2. С. 272 – 276.
25. Козочкин М.П. Вибродиагностика состояния инструментов при точении металлов // Машиностроитель. 2013. № 1. С. 9 – 19.
26. Tool wear monitoring in turning process using vibration measurement / Rmili W. [etal.] // 13th International Congress on Sound and Vibration. Vienna (Austria). 2006. P. 13 – 20.

27. Асинхронный трехфазный двигатель привода главного движения станка как датчик контроля состояния инструмента / С.В. Алёшин [и др.] // Вестник МГТУ «Станкин». 2010. №3. С. 110 – 119.
28. Проблемы технической диагностики станочного оборудования на современном этапе развития / С.Н. Григорьев [и др.] // Вестник МГТУ «Станкин». 2010. №4. С.27 – 36.
29. Динамометрическая система для измерения силы резания при точении / В.Ф. Безъязычный [и др.] // СТИН. 2014. №7. С.29 – 32.
30. Tool wear monitoring and selection of optimum cutting conditions with progressive tool wear effect and input uncertainties / S. Heyns [etal.] // Journal of Intelligent Manufacturing. 2011. Vol. 22(4). P. 491 – 504.
31. Григорьев А. С. Диагностирование резцов и прогнозирование их остаточной стойкости в реальном времени обработки на основе создания інструментария системы ЧПУ: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. М., 2012. 108 с.
32. Шатуров, Д. Г. Технологические особенности чистовой токарной обработки валов / Д. Г. Шатуров, Г. Ф. Шатуров, А. А. Жолобов. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2015. – 192 с.
33. Тарасик, В. П. Математическое моделирование технологических систем : учебник для вузов / В. П. Тарасик. – Минск : Новое знание, 2013. – 584 с.
34. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – Москва : Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.
35. Мазур, М. П., Внуков, Ю. М., Доброскок, В. Л. (2010). Основи теорії різання матеріалів. Львів: Новий Світ – 2000, 422.
36. Буц, Б. Д., Приходько, В. Є., Ткачов, Ю. В. (2005). Розрахунок режимів різання металів. Дніпропетровськ: РВВ ДНУ, 76.
37. Абрамов, Ф. Н., Коваленко, В. В. (1983). Справочник по обработке металлов резанием. Киев: Техника, 239.

38. Шальская, Е. Е., Ивченко, Т. Г. (2010). Оптимизация режимов резания при чистовом и тонком точении методом геометрического программирования. Прогрессивные технологии и системы машиностроения, 39, 91–97.

39. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

ДОДАТОК А

(сертифікат учасника наукової конференції)

www.rusnauka.com



CERTYFIKAT





**Участника
международной научной
конференции**

PERSPEKTYWICZNE OPRACOWANIA
SĄ NAUKĄ I TECHNIKAMI

Przemysł , Poland

07- 15 ноября
2019

Секция:
Технические науки

Авторы:
Довгун В.А., Субін А.А

Доклад на тему:
Характеристики зносу інструменту
при токарній обробці загартованої
сталі

Председатель оргкомитета
dr hab. Jerzy Ciborowski

J. Ciborowski

NAUKA I STUDIA Sp. z o.o.
ul. Łukasiewicza 7, 61-790 Poznań
NIP: 7852304463, tel. 094 679 33 19

ДОДАТОК Б

(результати роботи ПЗ ПРІАМ)

Таблиця остатков (по обучающей матрице)

номер	Отклик по эксперименту	Отклик по модели	Остаток	Процент отклонения
1	0	0.00924242	-0.00924242	***
2	0	0.0282121	-0.0282121	***
3	0.05	0.0471818	0.00281818	5.63636
4	0.05	0.0661515	-0.0161515	-32.303
5	0.075	0.0851212	-0.0101212	-13.4949
6	0.075	0.104091	-0.0290909	-38.7879
7	0.075	0.123061	-0.0480606	-64.0808
8	0.1	0.14203	-0.0420303	-42.0303
9	0.15	0.161	-0.011	-7.33333
10	0.15	0.17997	-0.0299697	-19.9798
11	0.15	0.198939	-0.0489394	-32.6263
12	0	0.00924242	-0.00924242	***
13	0	0.0282121	-0.0282121	***
14	0.05	0.0471818	0.00281818	5.63636
15	0.05	0.0661515	-0.0161515	-32.303
16	0.1	0.0851212	0.0148788	14.8788
17	0.1	0.104091	-0.00409091	-4.09091
18	0.11	0.123061	-0.0130606	-11.8733
19	0.15	0.14203	0.0079697	5.31313
20	0.15	0.161	-0.011	-7.33333
21	0.15	0.17997	-0.0299697	-19.9798
22	0.2	0.198939	0.0010606	0.530302
23	0	0.00924242	-0.00924242	***
24	0.05	0.0282121	0.0217879	43.5758
25	0.1	0.0471818	0.0528182	52.8182
26	0.1	0.0661515	0.0338485	33.8485
27	0.1	0.0851212	0.0148788	14.8788
28	0.15	0.104091	0.0459091	30.6061
29	0.15	0.123061	0.0269394	17.9596
30	0.2	0.14203	0.0579697	28.9848
31	0.2	0.161	0.039	19.5
32	0.2	0.17997	0.0200303	10.0152
33	0.25	0.198939	0.0510606	20.4242

Средняя абсолютная погрешность аппроксимации – 0.0238659

Средняя погрешность аппроксимации в процентах – 34.2674